

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

FACULTAT DE FILOSOFIA I CIÈNCIES DE L'EDUCACIÓ

Programa de doctorado Arte y Filosofía



**Contribuciones al estudio de la influencia de
boquillas y sordinas para trompeta en la praxis
musical interpretativa**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

VICENTE CAMPOS CAMPOS

Directores:

Dr. Román de la Calle y Dr. Álvaro Romero Moreno

VALÈNCIA, 2015

**Contribuciones al estudio de la influencia de
boquillas y sordinas para trompeta en la praxis
musical interpretativa**

Programa de doctorado: Razón, Lenguaje e Historia, 165F

Parecerá extraño o superfluo que me exhiba abogando por el cornetín de pistones hoy, después que este instrumento ha obtenido espléndidos resultados en la orquesta y en el solo, cuando no es menos indispensable al compositor ni menos estimado del público que la flauta, el clarinete y aun el violín; hoy, en fin, que ha conquistado en definitiva la elevada categoría que le asignan la belleza de su timbre, la perfección de su mecanismo y la inmensidad de sus recursos.

Jean-Baptiste Arban, *Extracto del Gran método completo de cornetín de pistones y de saxhorn*, París, Leduc, 1865, p. VI

ÍNDICE

Agradecimientos	9
INTRODUCCIÓN	11
1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1 Hipótesis	14
1.2. Objetivos de la investigación	14
1.2.1. Objetivos generales	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. Características y tipo de investigación	17
1.4 Justificación del tema	18
1.3 Estado de la cuestión	19
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 La trompeta: características y estructura	25
2.2 Timbre y espectro armónico	35
2.2.1 El fenómeno físico-armónico y la serie armónica	38
2.2.2 La forma de onda	41
2.2.3 Análisis del timbre: espectro acústico	44
2.2.4 Fases del sonido	46
2.2.5. Otras cualidades sonoras	51
2.3 Acústica de la trompeta	53
3. MÉTODO EXPERIMENTAL, METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	61
3.1 La trompeta: marca, modelo y características	62

3.2. La cámara anecoica	63
3.3. Experiencias de investigación	65
3.3.1. Boquillas	65
3.3.2. Sordinas	67
4. BOQUILLAS. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	69
4.1 Descripción y partes de una boquilla	60
4.1.1. El anillo	71
4.1.2. La copa	72
.....	73
4.1.3. El granillo	74
4.1.4. El cono interior del tudel	75
.....	
4.2 Experiencias realizadas	75
.....	
4.3 Ficha técnica de las boquillas	77
4.4 Estudio acústico de las diferentes boquillas	81
4.4.1. Espectro armónico	81
4.4.2. Afinación y estabilidad sonora	92
4.4.3. Ataque-velocidad de emisión sonora	93
4.5 Resultados obtenidos	95
4.5.1. Espectro armónico	95
4.5.2. Afinación y estabilidad sonora	106
4.5.3. Emisión o ataque	115
5. SORDINAS. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	119
5.1 Descripción y partes de cada uno de los tipos de sordina	119
5.2 Experiencias realizadas	121
5.3 Fichas técnicas y materiales de las sordinas	122
5.3.1. Sordina <i>straight</i>	122
5.3.2. Sordina <i>cup</i>	122
5.3.3. Sordina <i>harnon</i> o wa-wa	123
5.4 Estudio acústico de las diferentes sordinas	139
5.4.1. Espectro armónico	139
5.4.2. Afinación	141
5.5 Resultados obtenidos	147

5.5.1. Espectro armónico	147
5.5.2. Afinación	153
6. LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO. LA PRAXIS MUSICAL	
INTERPRETATIVA	157
6.1. El estudio y la práctica de la trompeta	157
6.2. Aplicaciones didácticas en la praxis musical interpretativa de las diferentes boquillas	162
6.2.1. Primera experiencia: ataque, <i>legato</i> y calidad de sonido	163
6.2.2. Segunda experiencia: <i>legato</i>	165
6.2.3. Tercera experiencia: <i>staccato</i>	167
6.2.4. Cuarta experiencia: picado	169
6.3. Aplicaciones didácticas en la praxis musical interpretativa de las diferentes sordinas	171
.....	172
6.3.1. Primera experiencia: sordina <i>straight</i>	174
6.3.2. Segunda experiencia: sordina <i>straight</i>	174
6.3.3. Tercera experiencia: sordina <i>cup</i>	176
6.3.4. Cuarta experiencia: <i>harmon</i>	
7. CONCLUSIONES Y APLICACIONES A LA PRAXIS MUSICAL	
INTERPRETATIVA	179
7.1 Boquillas	181
7.2 Sordinas	187
BIBLIOGRAFÍA	193
ANEXOS	197
Anexo I. Cálculos para las boquillas	
Anexo II. Cálculos para las sordinas	

Agradecimientos

A los directores de la tesis, al Dr. Romà de la Calle y al Dr. Álvaro Romero, por su atenta dirección de la investigación.

A mi familia y a la familia de Salvador Seguí por su constante apoyo y aliento para que la tesis llegara a su finalización.

Al Departamento de Física Acústica de la Universitat Politècnica de València por los medios que ha puesto a disposición para la investigación experimental.

Al Departament de Filosofia de la Universitat de València por la acogida de esta tesis.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación trata de desvelar la influencia que pueden ejercer dos elementos fundamentales en la praxis interpretativa de la trompeta como son la boquilla y la sordina. El estudio de los materiales constitutivos de estos elementos, así como sus diferentes aplicaciones en el ámbito pedagógico y de práctica del instrumento en beneficio de una mejor interpretación, son puntos clave del análisis del presente trabajo. De este modo, estos dos elementos, la boquilla y la sordina, vertebran toda la investigación.

Si bien es cierto que existen publicaciones e investigaciones –que se detallarán en el correspondiente apartado de esta Tesis–en torno a las propiedades acústicas de los instrumentos de viento metal en general, y de la trompeta en particular, así como de alguno de sus elementos constitutivos, caso de la boquilla, del pabellón, o de sus accesorios y caso de la sordina, el presente trabajo trata de aportar su contribución en las dos vertientes estudiadas. Por un lado se muestra la influencia que ejerce el material de construcción en un mismo modelo de boquilla, así como la aplicación a la praxis interpretativa y sus posibles utilidades en el ámbito pedagógico. Por otro, se estudia la respuesta de diferentes modelos de sordinas a sus materiales constituyentes y sus aplicaciones a la praxis interpretativa. Para la investigación se han analizado las grabaciones realizadas en la cámara anecoica. Los resultados se discuten y comparan con los obtenidos en otras investigaciones similares. Finalmente, y a la luz de los resultados, se ofrecen aplicaciones prácticas para la interpretación y para adquirir mejoras sustanciales en el dominio de la técnica instrumental.

El trabajo se estructura en ocho apartados a los que se le suman las referencias y los anexos. Tras el resumen y la introducción, en el primer apartado se acota el objeto de estudio de la investigación, se plasman las motivaciones que la han generado y los objetivos perseguidos en la misma, a la vez que se muestran los problemas y los puntos débiles del estudio. También se recoge la justificación del tema elegido en función de las necesidades e intereses que posee para la comunidad profesional y se analiza el estado de la cuestión en este ámbito.

En el segundo apartado se trata el marco teórico sobre el que se fundamenta la investigación, definiéndose aquellos conceptos teóricos que sirven para fundamentar el trabajo. De este modo se estudian las características estructurales y acústicas de la trompeta como instrumento de la familia de viento metal, así como de la boquilla y de las sordinas empleadas. Cabe destacar la fundamentación teórica de los parámetros acústicos utilizados en la investigación. En el apartado tercero se desarrolla tanto el montaje experimental realizado como la metodología y el plan de trabajo seguidos. El método empleado ha sido útil para evaluar las muestras tomadas en la cámara anecoica y que han servido para extrapolar los resultados tanto a la praxis interpretativa como a la docencia de la misma.

En los apartados cuarto y quinto se muestran las experiencias realizadas, las fichas técnicas y los materiales empleados para el estudio de las boquillas y de las sordinas respectivamente. En estos apartados se analizan desde el punto de vista acústico e interpretan los resultados obtenidos y se extraen las correspondientes conclusiones. Con los resultados obtenidos, en el sexto apartado, se proponen las aplicaciones a la praxis musical interpretativa y a su influencia en la práctica de estudio, como una novedosa aplicación pedagógica a tener en cuenta que ha sido testeada con estudiantes de trompeta de estudios superiores. Finalmente en el séptimo apartado se discuten las conclusiones y translaciones a la praxis musical interpretativa obtenidas, enfatizando las aplicaciones pedagógicas al estudio de la trompeta.

Capítulo 1

Contextualización de la investigación

La presente tesis está particularmente centrada en el estudio y análisis de las boquillas y sordinas para el caso concreto de la trompeta, aunque los resultados pueden extrapolarse para los otros instrumentos de su misma familia (viento – metal). Este estudio enlaza con el trabajo de investigación realizado por el mismo autor, cuyo objeto fue el análisis acústico de diferentes modelos o marcas de trompetas para diferentes tonalidades y diferentes intensidades. Además, el estudio pretende abrir nuevas vías de investigación para el futuro en el campo del análisis acústico de los instrumentos musicales en general y de la trompeta en particular.

Tanto en el caso de las boquillas como en el de las sordinas se plantea un análisis y comparación de los resultados obtenidos para diferentes materiales, dentro de un mismo modelo, cuyo estudio permite obtener conclusiones objetivas para cada caso. Además en las sordinas también puede realizarse el estudio de un mismo material para los diferentes modelos. Los resultados obtenidos se ponen al servicio en la búsqueda de la mejora interpretativa.

1.1. HIPÓTESIS

Esta tesis parte de la siguiente hipótesis: se acepta, por constatación evidente, que para la interpretación trompetística se utilizan comúnmente las boquillas de latón y las sordinas convencionales, las cuales, gracias a la práctica interpretativa consuetudinaria, se han revelado en términos generales como las más adecuadas. Ahora bien, para determinados tipos de sonoridad, efectos de articulación y, sobre todo, determinados estilos compositivo-interpretativos, sus respuestas no son siempre las más adecuadas, lo que permite suponer que tanto boquillas como sordinas fabricadas con otros materiales serán, en esos precisos momentos, más adecuadas para los efectos sonoros, de articulación, expresivos y estilísticos que requiera cada pasaje u obra determinada.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

En base a esta hipótesis de partida, los objetivos generales y específicos que se persiguen y se quieren alcanzar tanto en el estudio de las boquillas como en el de las sordinas en esta tesis quedan especificados a continuación.

1.2.1. Objetivos generales

1. Estudiar y evaluar la respuesta acústica de boquillas y sordinas para diferentes materiales de construcción.
2. Aplicar los resultados obtenidos para mejorar la praxis musical interpretativa y el estudio técnico del instrumento.

1.2.2. Objetivos específicos

BOQUILLAS

1. Comparar un mismo modelo de boquilla construida con diferentes materiales, lo que permite el análisis y estudio de la respuesta sonora, las prestaciones tímbricas y el espectro armónico para cada uno de los diferentes materiales.

2. Analizar la forma de onda que se obtiene de la boquilla para cada uno de los diferentes materiales, variación de la presión sonora o acústica, su tiempo de respuesta o influencia del ataque, estabilidad y decaimiento, así como su riqueza en armónicos.
3. Representar gráfica y analíticamente los resultados obtenidos tras el análisis realizado mediante el programa de tratamiento de señal sonora Adobe® Audition® CS6. Gráficas y diagramas de presión sonora y tiempo de ataque. Utilización de la transformada de Fourier (Adobe® Audition® CS6) para obtener el espectro armónico en cada caso y representación de los resultados gráfica y analíticamente.
4. Analizar, comparar y representar la variación de todos los parámetros estudiados para las boquillas construidas con los 7 diferentes materiales, en función de la altura o frecuencia. Realizar el estudio para los tres registros de altura; grave ($LA_3 = 220$ Hz), medio ($LA_4 = 440$ Hz) y agudo ($LA_5 = 880$ Hz).
5. Analizar, comparar y representar la variación de todos los parámetros estudiados para las boquillas construidas con los 7 diferentes materiales, en función de la intensidad. Realizar el estudio para tres intensidades características; fuerte (f), medio fuerte o mezzoforte (mf) y piano (p).
6. Aplicar y adaptar según los usos específicos los resultados obtenidos para el estudio técnico del instrumento con la finalidad de mejorar la praxis interpretativa.

SORDINAS

1. Comparar un mismo modelo de sordina construida con diferentes materiales, lo que permite el análisis y estudio de la respuesta sonora para toda la escala o gama cromática, las prestaciones tímbricas y el espectro armónico resultante para cada uno de los diferentes modelos y materiales.
2. Analizar la forma de onda que se obtiene de las sordinas para cada uno de los diferentes materiales, variación de la presión sonora o acústica, ataque, estabilidad y decaimiento, así como su riqueza en armónicos.
3. Representar gráfica y analíticamente los resultados obtenidos tras el análisis realizado mediante el programa de tratamiento de señal sonora Adobe® Audition® CS6. Gráficas y diagramas de presión sonora en función de la frecuencia o notas de la escala cromática. Utilización de la transformada de Fourier (Adobe® Audition® CS6) para obtener el espectro armónico en cada caso y representación de los resultados gráfica y analíticamente.
4. Analizar, comparar y representar la variación de todos los parámetros estudiados para los tres tipos de sordinas construidas con los diferentes materiales, en función de la altura o frecuencia. Realizar el estudio para la escala cromática desde el FA#₃ hasta el DO₆.
5. Analizar, comparar y representar la variación de todos los parámetros estudiados para las sordinas construidas con los diferentes materiales, en función de la intensidad. Realizar el estudio para una intensidad *mezzoforte (mf)*.
6. Comparar los resultados para los diferentes tipos de materiales en cada tipo de sordina y a su vez comparar un mismo material para los

diferentes tipos de sordinas. Influencia de la forma, modelo, material y tipo de sordina.

7. Aplicar y adaptar según los usos específicos los resultados obtenidos en el ámbito de la praxis interpretativa.

1.3. CARACTERÍSTICAS Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo una investigación de las características, propósitos y objetivos como la que plantea esta tesis, son varios los métodos que principalmente han de seguirse para la trompeta.

En primer lugar, hay que partir del principio de que es una investigación aplicada, es decir, busca la aplicación útil y efectiva de los conocimientos que se adquirirán al campo de la docencia y de la interpretación trompetísticas. Así pues, aquello que verdaderamente interesará de la investigación serán sus consecuencias funcionales.

Por su parte, en base a la obtención de los datos sobre los que se articularán los resultados del proceso, se seguirá el proceso propio de una investigación experimental, es decir, se modificará la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga y así poder observarlos tantas veces como sea necesario en iguales o distintas condiciones y circunstancias. Para ello se fabricarán expresamente boquillas y sordinas en distintos materiales no habituales y se someterán a análisis acústicos fuera del ámbito estricto de la docencia e interpretación, en concreto en una cámara anecoica, para así poder constatar y anotar objetivamente los resultados de cada prueba realizada.

En segundo lugar, también se aplicará el método de la investigación de campo, puesto que una vez realizadas las pruebas experimentales, se realizarán actuaciones sobre los distintos elementos y factores que constituyen el objeto de la investigación; es decir, se obtendrán datos a partir de la praxis

interpretativa de diversos alumnos a los que se les facilitarán las boquillas y sordinas construidas al efecto de la investigación.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Resulta de especial interés tanto para los docentes como para los estudiantes poder conocer las ventajas que puede ofrecer el uso adecuado de un determinado tipo de boquilla. En esta investigación se aborda el análisis de la influencia que el material de construcción de una boquilla presenta para el estudio y la práctica interpretativa de la trompeta.

El énfasis del presente estudio reside en la aplicación práctica que de ella se desprende, en la que la constitución del material de un boquilla ayuda ante un tipo de interpretación y praxis. Así, por ejemplo, las ventajas de emplear un determinada boquilla de un determinado material para estudiar el *stacatto* u otro para abordar el *legato*, serán, sin duda, de gran utilidad pedagógica y profesional.

Al mismo tiempo, el estudio de la influencia en los materiales de construcción tanto de boquillas como de sordinas, permite responder a las necesidades e intereses para la comunidad profesional, orientándola en la elección de un tipo u otro de boquilla o sordina. El autor de la investigación, como docente de las enseñanzas superiores de trompeta indaga en los beneficios pedagógicos que pueden derivarse de este estudio, al mismo tiempo que da respuesta a sus propios intereses interpretativos.

El análisis acústico pormenorizado tanto de boquillas como de sordinas permite dar respuesta desde las razones científicas y resuelven algunos interrogantes que navegan entre la comunidad educativa y profesional de la praxis interpretativa de la trompeta.

1.5. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Aunque existen algunos estudios referentes a las condiciones acústicas tanto de boquillas como de sordinas, la presente investigación da un paso hacia el frente al incidir en el análisis del tema desde la perspectiva de sus materiales de construcción, y de cómo éstos influyen en el resultado sonoro final. Todo ello a través de un estudio metódico de las condiciones acústicas, a partir del análisis de la señal sonora, que permite abordar el comportamiento tímbrico de las boquillas y las sordinas estudiadas.

Existen diversas investigaciones previas que analizan el espectro armónico de la trompeta para diferentes intensidades sonoras, como el que llevaron a cabo en el año 1970, Arthur H. Benade y Edward Tarr, con la ayuda del trompetista principal de la Sinfónica de Minneapolis, Charles Schlueter, cuyos resultados se muestran en la figura 1.1 (Benade, A. H., 1990). En la misma línea se dirigen los estudios realizados por Bakus y Hundley un año más tarde (Bakus, J. Y Hundley, T. C., 1971).

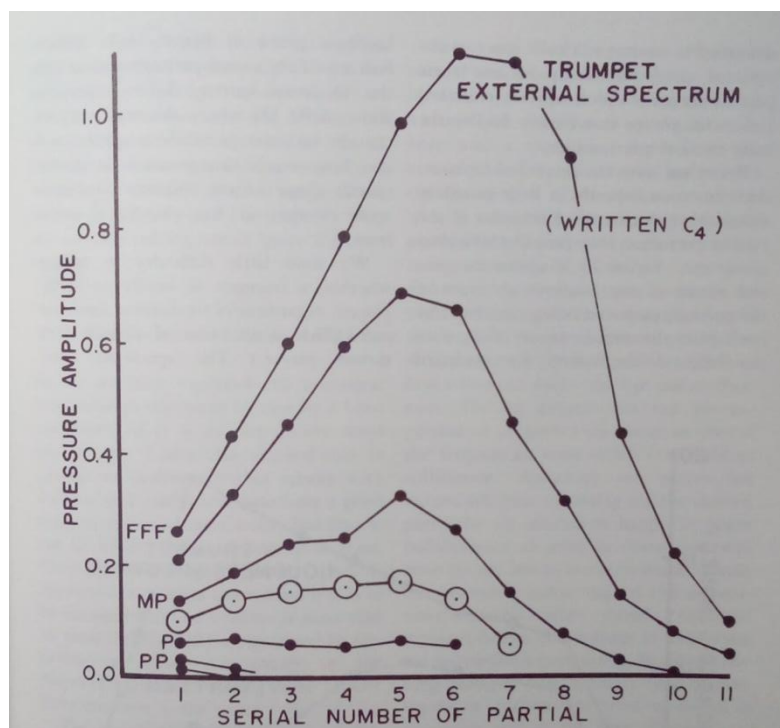
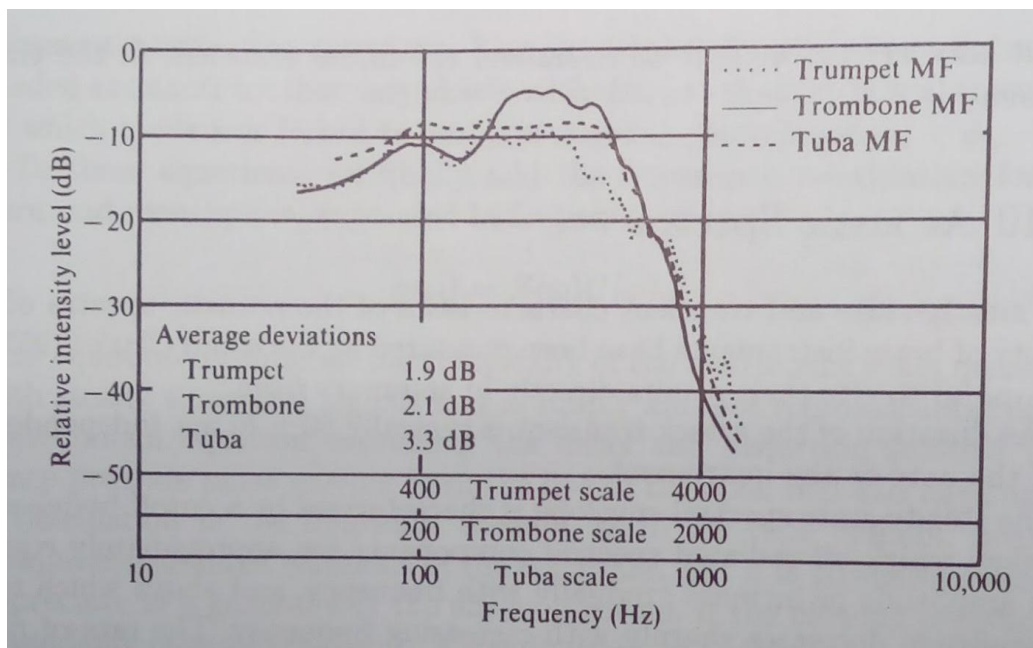


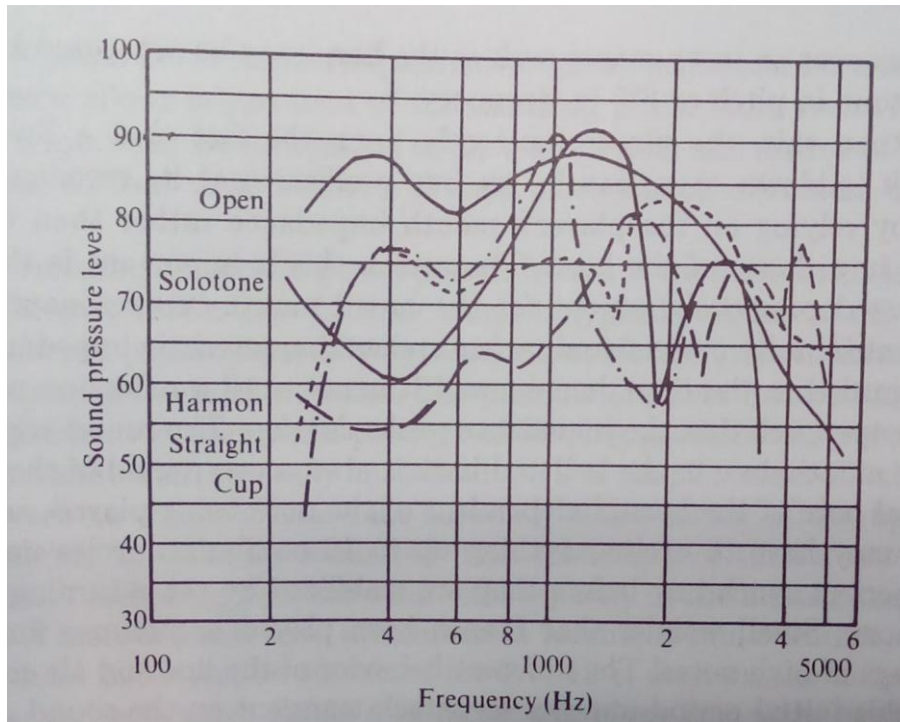
Figura 1.1. Espectro externo de la trompeta obtenido aplicando la Función de la Transformada de Fourier (Benade, A. H., 1990, p. 423)



También es reseñable el trabajo previo realizado por Luce y Clark sobre envolventes del espectro sonoro tanto de la trompeta, como del trombón y la tuba (figura 1.2 de Fletcher, N. H. y Rossing, T. D., 2005).

Figura 1.2. Envolventes espectrales de la trompeta, trombón y tuba, intensidad mezzoforte (Luce, D. Y Clarke, M., 1967)

En cuanto a los estudios sobre la vibración de los labios en la boquilla y sobre el espectro armónico de instrumentos de viento metal, entre los que se encuentra la trompeta, son reseñables los realizados a mediados del siglo XX por Daniel W. Martin (Martin, D. W., 1942^a y 1942^b) y por Long (Long, T. H., 1947). Del estudio de boquillas y la influencia de la vibración de los labios destacan varios trabajos como los de Cardwell, Kent, Adachi y Sato (Kent, E. L., 1961; Cardwell, W. T., 1970; Adachi, S. Y Sato, M., 1995; Adachi, S. Y Sato, M., 1996) y los de Neville H. Fletcher y Thomas D. Rossing (Fletcher, N. H. y Rossing, T. D., 2005).



De los estudios

acústicos sobre sordinas cabe mencionar el trabajo realizado por Ancell con medidas sobre su comportamiento acústico (Ancell, J. E., 1960), en el que se demuestra que existe una admitancia máxima o resonancia de Helmholtz, debido a la cavidad de las sordinas entre los 200 y los 300 Hz. Todas las sordinas presentan su admitancia máxima o mínima en torno a los 1000 Hz, lo que les confiere sus particularidades sonoras. Un estudio realizado por Bakus (Bakus, 1976) llega a las mismas conclusiones. En la figura 1.3 se muestran los resultados obtenidos por Ancell para los diferentes tipos de sordinas (de Fletcher, N. H. y Rossing, T. D., 2005).

Figura 1.3. Envolturas espectrales del sonido con diferentes tipos de sordinas (Ansell, J. E., 1960)

También los trabajos de Matthias Bertsch (figura 1.4), así como los de Benny Sluchin y René Caussé (Sluchin, B. y Caussé, R., 1991; Bertsch, M., 1995^a, Bertsch, M., 1995b) han profundizado sobre la acústica de las sordinas para trompeta (figura 1.5).

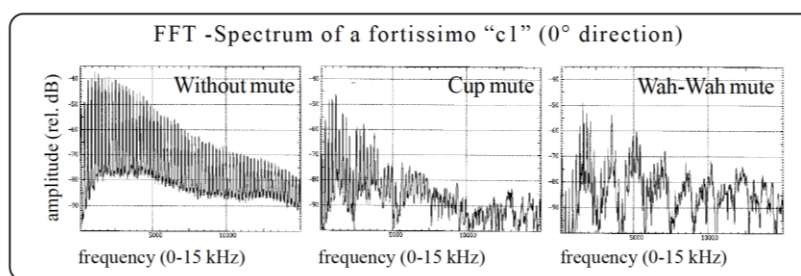


Figura 1.4. Espectros armónicos para trompeta, sordina cup y sordina wa-wa (Bertsch, M., 1995^a)

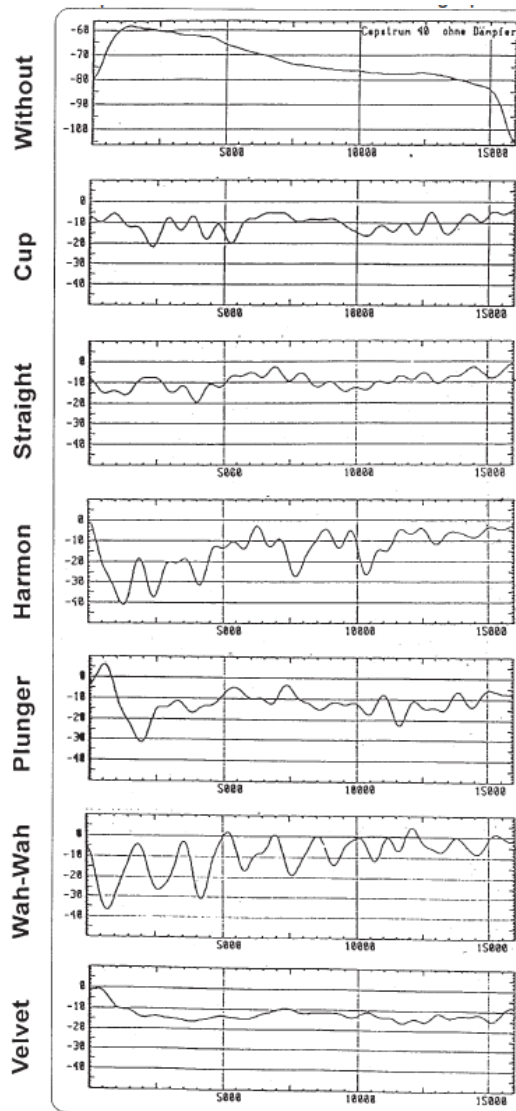


Figura 1.5. Envolturas espectrales del sonido con diferentes tipos de sordinas (Sluchin, B. y Caussé, R., 1991)

Resulta, pues, un trabajo innovador en cuanto al punto de vista adoptado, al focalizar el análisis de boquillas y sordinas en sus materiales constituyentes. Al mismo tiempo, la investigación no se queda en el análisis científico, sino que va más allá y extrapola los resultados obtenidos a la praxis interpretativa y su aplicación docente en el aula.

Capítulo 2

Marco teórico

Para poder abordar el estudio de la influencia de los tipos y de los materiales tanto en las boquillas como en las sordinas de trompeta en el resultado interpretativo final, se hace necesario definir los conceptos teóricos que van a servir para fundamentar el trabajo. En este apartado se describen las características estructurales y las bases acústicas de la trompeta.

2.1. LA TROMPETA: CARACTERÍSTICAS Y ESTRUCTURA

La trompeta está construida como un tubo abierto, estrecho y cilíndrico en uno de sus extremos y de forma cónica en el otro extremo dando lugar a un pabellón acampanado. Estas características constructivas le confieren un timbre especial, cuya consecuencia final es que resulta difícil obtener un contenido armónico más rico, por lo que la trompeta se sitúa al frente del resto de los instrumentos de la orquesta en lo que a brillantez sonora se refiere.

La trompeta es un instrumento de la familia de viento-metal y está constituida por tres partes: la boquilla o embocadura que es la pieza en que se apoyan los labios y es el lugar primario generador de las oscilaciones, un tubo de diámetro reducido, cilíndrico en los tres primeros cuartos de su longitud aproximadamente que encierra la columna de aire que ha de oscilar, tubo que se abre luego para terminar en la tercera de las partes, un pabellón abierto acampanado de dimensiones medianas que realiza la transición de la columna de aire hacia el exterior (figura 2.1).

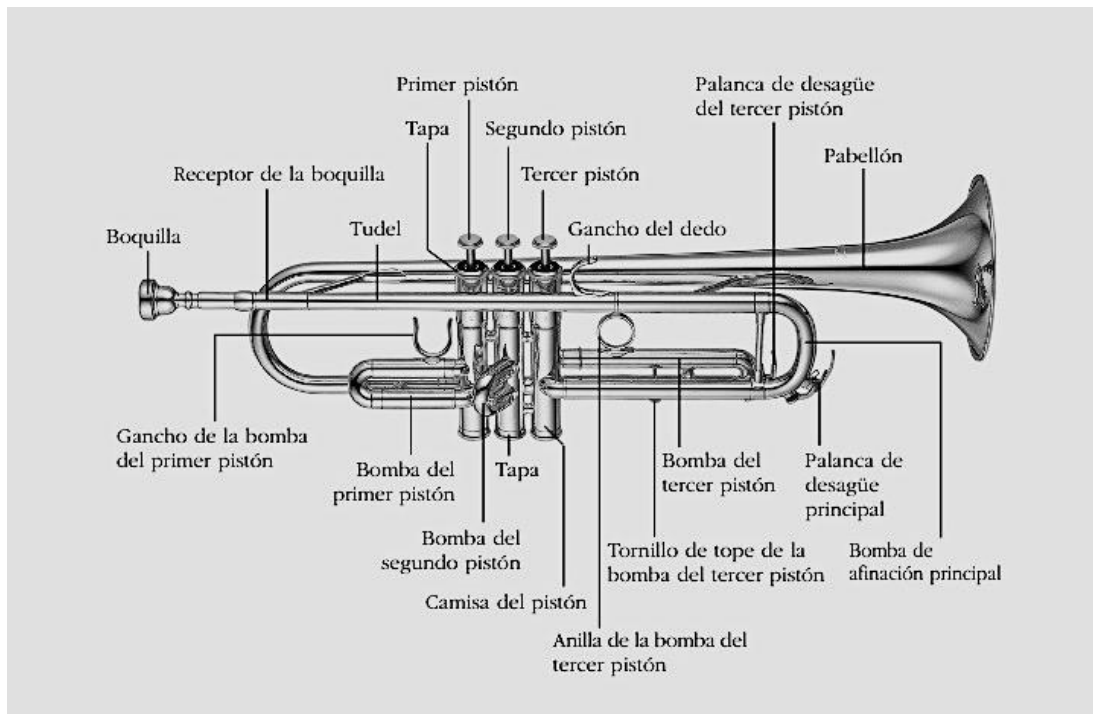


Figura 2.1. Estructura y partes de la trompeta

La embocadura tiene una perforación que conecta la copa y la tubería del instrumento. Esta perforación es pequeña, y como primera aproximación se puede suponer que el volumen de aire en el interior del instrumento corresponde al de una columna de aire cerrada en el extremo de la

embocadura y abierta en el extremo del pabellón. En los metales, las oscilaciones de la columna de aire son inducidas por el aire que bajo presión deja escapar el músico de entre sus labios apoyados en la embocadura. A su vez, las oscilaciones de la columna de aire inducen oscilaciones de presión en el interior de la embocadura.

Consecuencia directa de la diferencia de longitud del tubo es el registro más agudo de la trompeta moderna, así como su sonido más brillante y más resonante se debe a la forma del tubo, del pabellón y de la boquilla.

De la familia de los instrumentos de viento metal forman parte los instrumentos musicales constituidos por un tubo, cuyo sonido es generado por la vibración de los labios conjuntamente con una boquilla en forma de copa o de sección cónica. Algunos de ellos están contruidos empleando metales como la plata, el cobre o el latón, pero también pueden estar formados por materiales como la madera, el marfil e incluso mediante cuernos de animales (Remnant, M., 2002) (Tranchefort, F.-R., 2000).

La longitud del tubo puede modificarse bien acortándolo practicando orificios en él o bien alargándolo mediante varas correderas o mediante un sistema de válvulas o pistones que permiten añadir tubos de diferentes longitudes al tubo principal.

Los instrumentos de viento metal son difíciles de clasificar si se atiende al tipo de sección del tubo sonoro, ya que por regla general en un mismo instrumento se van a dar tanto el tubo de sección cónica como de sección cilíndrica. Sí que es posible, no obstante, establecer una clasificación considerando si la mayor proporción de la longitud de tubo de cada uno de ellos es sustancialmente cónico o, por el contrario, cilíndrico. En la tabla 2.1 se muestra un esquema de los instrumentos de viento metal elaborado a partir de Adam Carse (2002).

MECANISMO	TUBO de sección	INSTRUMENTOS	BOQUILLA
Ninguno	Estrecho y fundamentalmente cilíndrico	Trompetas antiguas, trompetas de caballería y de fanfarria	Forma de copa y de copa profunda
	Cónico - Ancho - Estrecho	Bugle Trompa natural	
Orificios o llaves que permiten acortar la longitud del tubo	Cónico: - Ancho - Muy anchos	Cornetos / bugles de llaves / oficleido o figle Serpentón	
y pistones que permiten alargar la longitud del tubo añadiendo tubos adicionales	Estrecho y principalmente cónico	Trompetas y Trombones a pistones	
	Estrecho, cónico y cilíndrico	Cornetas	
	Principalmente cónico - Estrecho - Intermedio - Ancho	Trompa Fiscorno Tuba (bombardino)	Boquilla: Cónica Intermedia Intermedia
Varas que se desplazan y permiten alargar la longitud del tubo	Estrecho y principalmente cilíndrico	Trompetas y trombones de varas	Boquilla intermedia

Tabla 2.1. Esquema de los instrumentos de viento-metal

Como ya se ha dicho, la trompeta está constituida como un tubo abierto, estrecho y cilíndrico en uno de sus extremos y de forma cónica en el otro extremo que es el resultado de un pabellón acampanado. Estas características constructivas le confieren un timbre especial, cuya consecuencia final es que resulta difícil obtener un contenido armónico más rico, por lo que la trompeta se sitúa al frente del resto de los instrumentos de la orquesta en lo que a brillantez sonora se refiere.

La boquilla (figura 2.2), si bien puede tener formas diferentes, predomina la que tienen forma de copa, con un granillo de superior diámetro y mayor profundidad en la actualidad que lo que venía siendo común hasta hace unas décadas, del mismo modo que en la mayoría de instrumentos de viento metal.

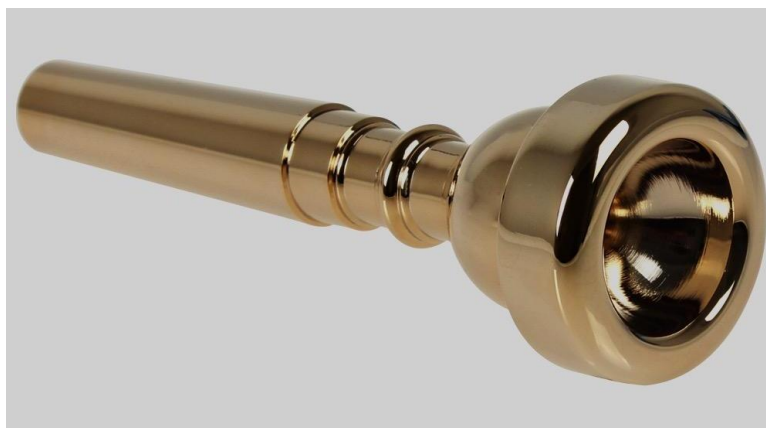


Figura 2.2. Boquilla de trompeta

Los primeros intérpretes llegaban de la escuela de trompa o clarín, con lo que cada uno intentaba llevar al nuevo instrumento las peculiaridades propias de su antiguo instrumento, consiguiendo un resultado final poco satisfactorio tanto en el ámbito técnico como sonoro. Poco a poco se fue mejorando y surgieron los primeros artistas de la trompeta que, si bien convencían al público como solistas, todavía les quedaba trabajo por hacer hasta poder tocar en conjunto.

La trompeta actual aporta como características constructivas específicas un mayor diámetro de taladro o perforación del tubo respecto a épocas anteriores y el uso de boquillas mas grandes y profundas, con un granillo más ancho, pero, es sin duda la invención del sistema de válvulas y pistones, y su posterior aplicación en los instrumentos de metal, lo que consiguió potenciar de nuevo el uso de la trompeta.

Oficialmente se atribuye a Heinrich Stölzel (1780-1844) la invención de los pistones. Hay fuentes, sin embargo, que conceden este privilegio a Friedrich Blühmel. Existen numerosos testimonios contradictorios al respecto, y afirmaciones a favor o en contra sobre quién fue su inventor. Se desconoce exactamente la relación que existía entre ambos. De Stölzel se sabe que fue trompista en la banda privada del Príncipe de Pless y en la orquesta de la Ópera Real de Berlín; al mismo tiempo era músico de la Cámara Real y reparador de instrumentos musicales del rey Frederick Wilhem III de Prusia. De Blühmel se conoce que era miembro de una banda de mineros procedente de Silesia. En abril de 1818, Blühmel y Stölzel obtuvieron conjuntamente la patente para Prusia del invento de un pistón de caja cuadrada para un periodo de diez años.

El sistema rotatorio o cilíndrico fue inventado por el profesor Joseph Kail (1782-1829) de Praga, presentándose al público en 1832, fabricado por Joseph Rield de Viena, que recibió un real privilegio por su mecanismo de rueda. El pistón actual es el mismo, a grandes rasgos, que inventara en 1839 el fabricante de París François Perinet. Este pistón contiene pasajes para el aire menos constrictos que los anteriores, resultando una ejecución más fácil, así como una notable mejora en el sonido. Este pistón fue mejorado posteriormente por G. Besson y A. Curtois.

La colocación del tercer pistón parece aceptado por la gran mayoría que se debe a C. A. Müller de Mainz, en 1830. Este pistón baja un tono y medio la afinación y permite completar toda la escala cromática, lográndose siete posiciones.

Independientemente del principio mecánico de los pistones o de las válvulas, el efecto final es el mismo. Alargan o acortan la longitud fundamental del tubo del instrumento, alterando sus armónicos resultantes. El pistón constituye, de hecho, la combinación de dos válvulas: cuando se hace funcionar, desvía en un punto concreto del tubo, el trayecto del aire y le hace volver hacia el tubo

principal después de un recorrido por un segmento del tubo de una longitud determinada.

La conmutación es ejecutada bien por rotación, caso del cilindro, o bien por desvío, caso del pistón vienés y Perinet, de un pistón perforado en el interior de un cilindro. Con el pistón de Perinet, al que se le suele denominar simplemente pistón, esto es posible por presión del dedo directamente sobre un botón fijado al pistón. Un muelle situado en el cilindro asegura el retorno a la posición inicial. En los cilindros rotativos y los pistones vieneses el movimiento es transmitido por un sistema de palancas.

Cuando se varía la longitud del tubo mediante los pistones o las válvulas, lo que se hace es variar las diferentes fundamentales y sus armónicos. Para ello obtenemos, mediante la combinación de los pistones, siete posiciones, que posibilitan la interpretación de todas las notas desde el FA#3 hasta donde alcance las posibilidades del intérprete, según las distintas posiciones de las notas (figura 2.3).

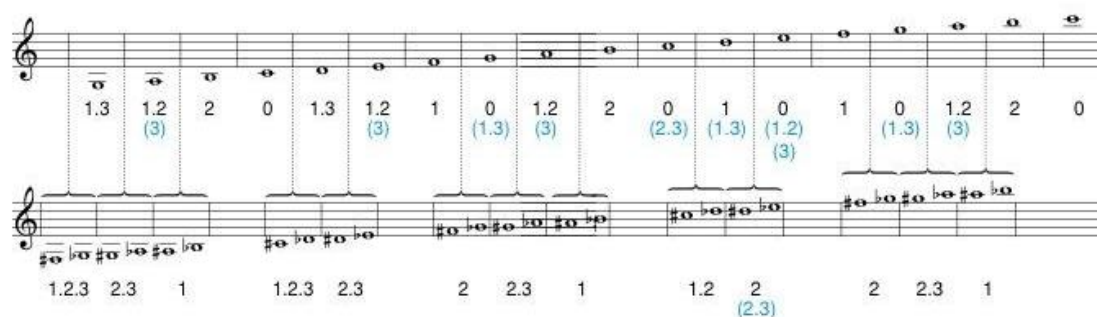


Figura 2.3. Posiciones para la trompeta

Cuando se interpreta sin accionar ningún pistón o válvula, la longitud de la columna aérea del tubo es la original y se obtiene la 1ª serie armónica natural del instrumento, 1ª posición al aire. Cuando se acciona el segundo pistón o

similar obtendremos la 2ª posición, un semitono descendente. Al accionar el primer pistón, 3ª posición, se obtiene un tono descendente. Con el primer y segundo pistón simultáneamente se obtiene la 4ª posición que desciende un tono y medio descendente, posición que también se obtiene presionado directamente el tercer pistón. Con el segundo y el tercer pistón accionados a la vez se obtiene la 5ª posición, que desciende dos tonos. Con el primer y el tercer pistón pulsados, 6ª posición, se desciende dos tonos y medio. Con los tres pistones accionados a la vez, 7ª posición, se desciende tres tonos.

Se pueden utilizar, como ya se ha comentado, otras combinaciones para obtener algunos armónicos, incluso se puede acoplar alguna válvula o pistón adicional para conseguir nuevos armónicos, como ocurre en el caso de la trompeta *piccolo*, pero el principio en el que se fundamentan los instrumentos de metal es el descrito.

Las trompetas más utilizadas en la actualidad son:

1. La trompeta mezzo-soprano en Si bemol (figura 2.4), con una medida aproximada de 1,45 m de longitud de tubo. Generalmente es la de uso más corriente por su empleo tanto en la orquesta como en bandas, jazz y música ligera. Su sonoridad es brillante y marcial.

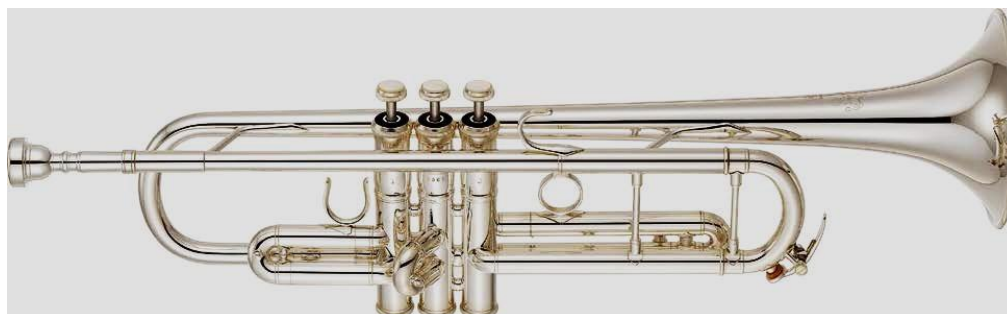


Figura 2.4. Trompeta Yamaha en Si b

2. La trompeta mezzo-soprano en Do (figura 2.5), con una medida aproximada de 1,314 m de longitud de tubo. En esta trompeta resultan un poco más sencillas y bastante más efectivas las notas agudas. Es ligera, y su sonido es el más usado, sin duda, para el repertorio sinfónico tradicional y en el música de cámara.



Figura 2.5. Trompeta Yamaha en Do

3. La trompeta soprano en Re (figura 2.6), que mide aproximadamente 1,171 m de longitud de tubo. Este instrumento, de brillantes agudos, es el adecuado para composiciones orquestales barrocas. Armoniza bien con los instrumentos de cuerda en las sinfonías clásicas. Su tonalidad es similar al cornetín de las bandas militares.
4. Trompeta soprano en Mi bemol agudo (figura 2.6), de 1,105 m aproximadamente de tubo. Es un instrumento de gran importancia en la música escrita en el último siglo. Es un instrumento de sonido pequeño y no muy dado a la expresividad. Se sitúa lejos de la nobleza y señorío de la antigua trompeta.



Figura 2.6. Trompeta Yamaha en Mi b / Re

5. Trompeta soprano en Fa agudo (figura 2.7). Esta es la trompeta que suele usarse para interpretar oratorio o bien para partes agudas como el *Concierto de Brandemburgo nº 2*, de J. S. Bach.
6. Trompeta soprano en Sol agudo (figura 2.7). El *Concierto de Brandemburgo nº 2* de J. S. Bach puede ser interpretado de forma más sencilla con esta trompeta. Posee un tono muy brillante en su registro agudo extremo.



Figura 2.7. Trompeta Yamaha en Fa / Sol

7. Trompeta *piccolo* en Si bemol / La agudo (figura 2.8). Mide aproximadamente 0,737 m de longitud de tubo. Es, relativamente, de reciente creación y suena una octava superior a la trompeta común. Su timbre es incisivo, penetrante; recuerda las antiguas trompetas clarines. Es muy adecuada para las composiciones barrocas y se está convirtiendo en un instrumento habitual entre los músicos de jazz.



Figura 2.8. Trompeta piccolo Yamaha en Si^b / La

2.2. TIMBRE Y ESPECTRO ARMÓNICO

El timbre lo percibimos subjetivamente en nuestro sistema auditivo como el color de una determinada sustancia sonora. Esta cualidad nos permite identificar la fuente del sonido, es decir, permite la diferenciación de dos sonidos con análogas alturas e intensidades, pero de origen dispar. Es, por consiguiente, la cualidad que nos permite diferenciar el sonido proveniente de dos instrumentos diferentes. Físicamente consiste en varias frecuencias secundarias que se superponen a la fundamental, cuyas intensidades son menores. Dicho de otro modo, la calidad o el timbre describe aquellas características del sonido que permiten que el oído distinga un sonido con la misma altura e intensidad. Está determinado por el contenido armónico de un

sonido y las características dinámicas del sonido como el vibrato o el ataque y la caída del sonido (Pastor y Romero, 2011).

Cuando cualquier instrumento toca una nota sostenida de afinación estable, su cuerpo resonador está excitado por el generador en un gran número de frecuencias simultáneamente que siguen un modelo, o dicho de otro modo, el cuerpo no se mueve en una sola dirección, sino que realiza múltiples movimientos en diversas direcciones y frecuencias. El resultado de esto es un tono complejo reducible a una serie de tonos simple, denominados armónicos, de naturaleza sinusoidal. La frecuencia más grave de estas resonancias, conocida como fundamental, es la que se percibe como la altura de la nota, mientras que las restantes, múltiples enteras de aquélla, quedan fusionadas por nuestro sentido auditivo como un timbre determinado dado que el oído es incapaz de discriminarlas individualmente, salvo excepciones. Estas frecuencias también se denominan parciales superiores. Si se asemejan a la serie armónica derivada de la fundamental, se dice que son concordantes. En caso contrario son discordantes y se les denomina sobretonos.

Aunque en teoría los armónicos componentes de un sonido complejo son infinitos, nuestro oído solo percibe aquéllos que se encuentran dentro de su gama audible, esto es, entre 16 Hz y 20.000 Hz aproximadamente. En cuanto a la duración necesaria para reconocer un timbre determinado, algunos estudios establecen una duración de aproximadamente 60 ms. Si el tono tiene una duración menor de 4 ms el timbre se percibe como un ruido.

Por otro lado, para armónicos de frecuencia media o alta esta duración requiere una intensidad de 4 dB para percibir un cambio de timbre, mientras que para frecuencias graves se necesitan aproximadamente 10 dB para percibir un cambio de timbre. La calidad del tono depende del grado de complejidad del movimiento vibratorio del sonido. Efectivamente, el timbre de una señal sonora viene determinado, de acuerdo con el Teorema de Fourier, por su grado de complejidad, esto es, según el número e intensidad de cada uno de sus movimientos armónicos constitutivos. Y este grado de complejidad

lo determina, a su vez, el diseño del instrumento. Efectivamente, cuando un clarinete y un oboe tocan la misma nota, están produciendo vibraciones en la misma frecuencia fundamental, pero cada uno de ellos está generando armónicos cuyas intensidades relativas dependen del diseño del instrumento y de la forma que se toque. Si cada instrumento produjese solo la frecuencia fundamental, el sonido sería el mismo para ambos instrumentos.

Sin embargo, la ciencia ha demostrado que no existe un timbre característico asociado a un instrumento particular, ya que la estructura de un tono dado depende también de otros factores, a saber: su intensidad, cómo se emita, donde se oiga, de las características de la sala, etc. Además, el espectro de un tono en la región de los armónicos de alta frecuencia no tiene grandes diferencias, dado que su separación de frecuencia se torna relativamente pequeña y, por tanto, estos armónicos se sitúan dentro de la misma banda crítica en el oído.

Asimismo, a pesar de las amplias variaciones en los espectros de los tonos producidos por distintos instrumentos, el oído es capaz de distinguir la procedencia del tono, luego cabe pensar que existen otros aspectos que tienen una especial contribución en la identificación del instrumento que lo produce como, por ejemplo, los transitorios iniciales del tono que se producen en la fase inicial de ataque, tales como ruidos mecánicos derivados de la acción de embocar e insuflar que se le imprime al instrumento. También el vibrato es importante en la identificación del sonido de un instrumento, e incluso un cierto ruido marginal producido por los dedos y juegos de llaves.

El vibrato lo podemos definir como una modulación periódica de la frecuencia del tono sobre su valor medio combinada en algún grado con una modulación de la amplitud, en aras de reforzar el valor expresivo de las notas.

El timbre puede representarse mediante unas curvas que muestran las variaciones de presión en función del tiempo. Estas curvas, que reciben el nombre de formas de onda, pueden analizarse descomponiéndolas en los

armónicos que la constituyen mediante el análisis de Fourier. También puede realizarse la inversa del análisis, esto es, la síntesis de Fourier, mediante la construcción de una onda periódica a partir de sus componentes armónicos. El proceso consiste en sintetizar el sonido con una serie de generadores de tono puros ajustando correctamente sus amplitudes y fases y superponiéndolos.

El matemático y físico francés Fourier (1772-1837) desarrolló un análisis matemático por el que cualquier onda periódica compleja puede descomponerse en una suma de ondas senoidales de amplitud, frecuencia y fase adecuadas. Es decir, se puede expresar como una serie matemática en la cual los términos son funciones trigonométricas. Las frecuencias de estas ondas senoidales guardan una relación sencilla entre sí; son todas múltiplas enteras de la frecuencia fundamental.

2.2.1. El fenómeno físico-armónico y la serie armónica

El fenómeno físico-armónico puede definirse como el resultado obtenido de la vibración libre de una cuerda ideal entre dos apoyos rígidos. El primero en dar una explicación científica de este fenómeno fue el francés Joseph Sauveur. Su trabajo sobre los armónicos superiores se publicó hacia el año 1701 y tuvo tal importancia que en 1722 Rameau basaría en él su Teoría de la Armonía. Esta idea, según la cual al tono fundamental emitido por una cuerda le acompañan otros tonos, fue retomada por otros autores posteriormente: Vincenzo Galilei, Galileo Galilei, Mersenne, y sobre todo René Descartes, piedra clave en el desarrollo del teorema.

El principio físico-armónico establece que cuando una cuerda vibra libremente, lo hace de forma fraccionada siguiendo una proporción armónica obteniéndose como resultado unos tonos armónicos cuyas frecuencias son múltiplas enteras de la producida por la cuerda sin fraccionar. Este principio puede aplicarse también a las columnas de aire contenidas en los tubos sonoros. Así, el tono emitido por la cuerda o columna aérea sin fraccionar se llama fundamental o primer armónico; al resultado del fraccionamiento en dos partes, segundo

armónico; al de tres, tercer armónico; al de cuatro, cuarto armónico; y así, sucesivamente.

De esta relación los teóricos deducen la escala de los armónicos o de la resonancia superior de un tono puro, constituida por una serie de intervalos musicales, en orden ascendente, cada vez más pequeños: el primero corresponde a vibración más larga, el segundo a la 1ª subdivisión de la vibración fundamental en un relación de frecuencia de 2/1, el segundo a la segunda subdivisión en una relación de frecuencia de 3/2, etc. (figura 2.9).

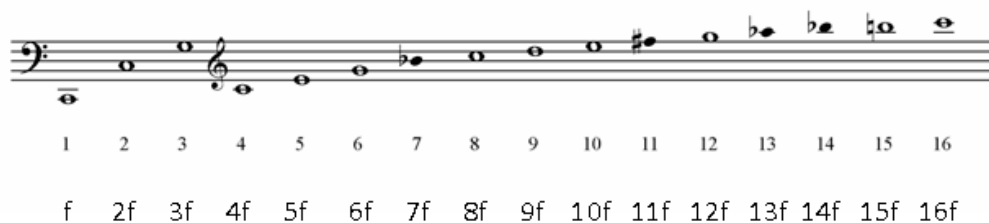


Fig. 2.9. Escala de los armónicos a partir del DO_2

Ya se ha comentado que el matemático Fourier desarrolló un tipo de análisis matemático por el que cualquier onda periódica compuesta puede descomponerse en una suma de ondas senoidales de amplitud, frecuencia y fase adecuadas. La onda periódica compuesta a la que se refiere Fourier es el resultado de la vibración libre de la cuerda y las diversas ondas senoidales son los diversos tonos emitidos por dicha cuerda.

A partir de estos conceptos se ha desarrollado universalmente la definición de tonos y ruidos: tonos constituyen los movimientos periódicos que se descomponen en series armónicas y ruidos –físicamente hablando- los que no tienen relaciones armónicas en su descomposición, haciéndolo por tanto siguiendo series inarmónicas. Consecuencia directa de esto es la clasificación de los instrumentos musicales en generadores de tonos o ruidos, definiendo a los primeros como instrumentos de entonación determinada y a los segundos de entonación indeterminada.

Por consiguiente, cuando hablamos del fenómeno físico-armónico nos estamos refiriendo a la producción concomitante de varios sonidos adosados a uno principal. Recuérdese, en este sentido, que este sonido principal lo percibimos como el diapasón, mientras que los restantes son fusionados sensorialmente como el timbre. En función de su número, frecuencia y amplitud, éste quedará constituido.

El físico alemán G. S. Ohm fue el primero en expresar esta cualidad sonora. A este respecto sostenía que el oído humano era capaz de analizar las ondas complejas que le llegan descomponiéndolas en cada una de sus componentes sinusoidales, esto es, movimientos simples. A tal efecto enunció una ley que toma su nombre: las diferencias de timbre de los distintos sonidos provienen únicamente de la presencia de armónicos y de su intensidad relativa.

Por otro lado, los instrumentos musicales se diseñan de forma que sus tonos se ajusten a la serie armónica. De esta forma, cuando se está tocando un sonido fundamental los parciales superiores también están presentes en la vibración, de manera que refuerzan el tono creando un sonido fuerte, estable y rico. En ausencia de esta cooperación entre el fundamental y sus armónicos, el tono emitido será inestable. Cuanto más armónicos o resonancias estén presentes para cooperar y con más exactitud estén alineadas a la serie armónica, más tonos podrán emitirse y mejor afinados. Por consiguiente, la calidad tonal de un instrumento depende del número de armónicos que puede producir y de sus relaciones de frecuencia.

2.2.2. La forma de onda

Físicamente se sabe que dos movimientos vibratorios de análoga frecuencia y amplitud generan sonidos de la misma altura e intensidad. Pues bien, la forma de onda viene definida cuando estos sonidos ofrecen un timbre distinto. Este fenómeno se explica por la variación de la elongación en función del tiempo en el intervalo de un período. Esta característica del sonido se representa gráficamente mediante el análisis de un osciloscopio o analizador de señales – aunque actualmente existen varios programas informáticos que realizan el análisis–, y se conoce con el nombre de forma de onda u oscilograma.

Cualquiera puede imaginar una partícula de aire vibrando y hacia atrás en una frecuencia particular, pero es difícil entender cómo una partícula sola puede vibrar en dos o más frecuencias y en varias direcciones simultáneamente. Para expresar la vibración de frecuencia múltiple la partícula efectúa un movimiento complejo que matemáticamente puede ser interpretado como la suma algebraica de sus frecuencias constitutivas.

Para ayudar en el estudio de tales movimientos los físicos dibujan unos gráficos trazando el modelo de movimiento vibratorio en el dominio del tiempo. Este proceso recibe el nombre de descomposición o análisis de Fourier del sonido de un instrumento musical o de cualquier otra función periódica en su seno constituyente u ondas de coseno. Este proceso permite caracterizar la onda sonora en términos de las amplitudes de las ondas de seno que lo constituyen.

A partir de esta descomposición, se obtienen una serie de números que representan el contenido armónico del sonido, lo que se conoce como el espectro armónico del sonido. El contenido armónico es el determinante más importante de la calidad o el timbre de una nota musical.

Diferentes tipos de vibración presentan formas de onda distintas. La vibración de una frecuencia sola corresponde a una línea ondulada de curvatura muy regular y lisa, conocida como onda senoidal o de seno, denominada así porque es igual a la que se obtiene de la función del seno en trigonometría, que proviene, por tanto, de sonidos puros, esto es, carente de armónicos. Esta onda sólo se puede generar por medio de un diapasón o electrónicamente (figura 2.10).

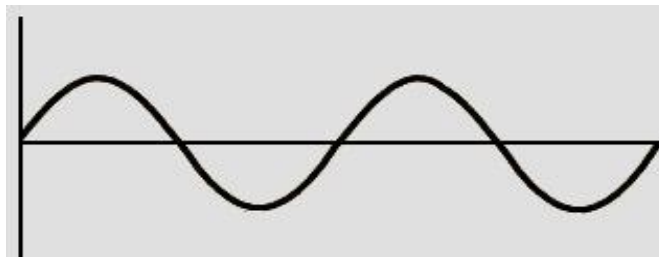


Fig. 2.10. Onda senoidal

Sin embargo, cuando se mezclan vibraciones más complejas con frecuencias no armónicas o con componentes adicionales ruidosos, la forma de onda resultante es más compleja e irregular. En este sentido, si las formas de onda son sumamente complejas, a nuestro oído le cuesta reconocer el modelo que se repite y, por tanto, percibir las frecuencias constituyentes, de manera que son percibidas como un sonido confuso o disonante. Este tipo de ondas, denominadas no senoidales, provienen de sonidos complejos, es decir, contienen determinados armónicos de la frecuencia fundamental (figura 2.11). La suma algebraica de cada una de las ondas senoidales de estos componentes da como resultado este tipo de onda asimétrica. Estas son, generalmente, las que derivan de los sonidos de los instrumentos musicales.

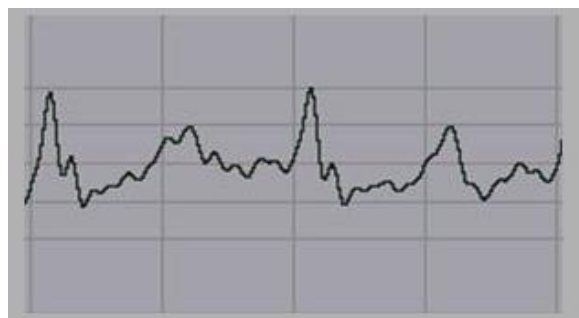


Figura. 2.11. Onda no senoidal

Las ondas no senoidales pueden clasificarse en tres tipos:

1. Onda de diente de sierra (figura 2.12). Esta onda se constituye mediante la composición de todos los armónicos de la frecuencia fundamental. La relación de las amplitudes de los armónicos en este tipo de onda con respecto a la frecuencia fundamental es la que sigue: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, etc.

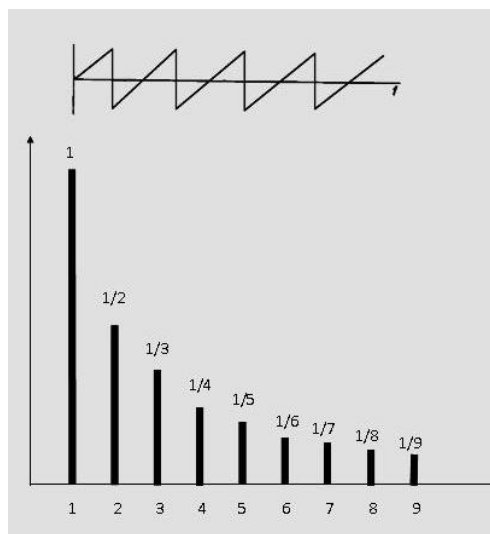


Figura. 2.12. Onda en dientes de sierra

2. Onda triangular (figura 2.13). Esta onda contiene todos los armónicos impares de la frecuencia fundamental con amplitudes decrecientes en relación con la amplitud fundamental de los números $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{25}$, etc.

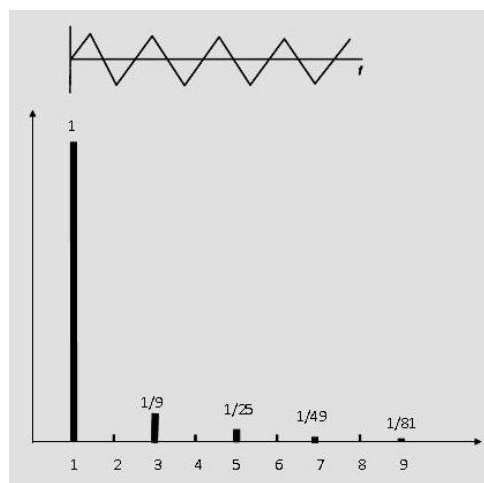


Fig. 2.13. Onda triangular

3. Onda cuadrada (figura 2.14). Su diseño perfecto se obtiene por combinación de una onda senoidal y sus armónicos impares. La diferencia con la onda triangular, que también contiene todos los armónicos impares, la constituye la diferente relación de amplitudes respecto de la fundamental, a saber, $1/3$, $1/5$, $1/7$, $1/9$, etc.

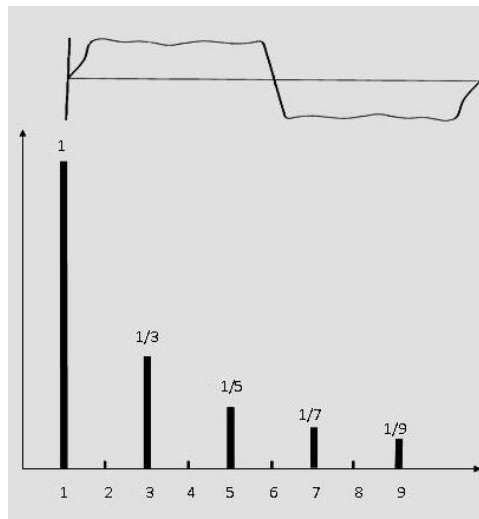


Fig. 2.14. Onda cuadrada

2.2.3. Análisis del timbre: espectro acústico

Los sonidos musicales constituyen una compleja mezcla de vibraciones que pueden ser analizadas mediante el denominado espectro acústico. El estudio del timbre de los instrumentos musicales se lleva a cabo científicamente mediante la obtención del espectro, entendido como una representación gráfica de un sonido cuantificando cada una de sus vibraciones como una función de frecuencia, cálculo que se obtiene mediante la transformada de Fourier.

En esencia, la estructura del espectro incluye el número, magnitud y espaciado de las líneas espectrales –que corresponden a los armónicos que están resonando–; la fluctuación espectral; la presencia o ausencia de altas frecuencias, medidas en vibraciones por segundo o Hertzios; el ancho de banda de la señal; y la energía aportada a la misma por los armónicos en relación con la energía total, medida en decibelios.

Los espectros se obtienen midiendo los sonidos en un ambiente anecoico. Para ello se utiliza el siguiente dispositivo:

1. micrófono, que mide la presión sonora sobre un cierto intervalo de tiempo;
2. convertidor análogo-digital, que transforma la presión en una serie de números como una función de tiempo;
3. ordenador, que realiza un cálculo sobre estos números.

El primer físico que analizó sonidos fue Helmholtz mediante unos resonadores que él mismo había diseñado. Estos aparatos permitían determinar los armónicos presentes en cada sonido complejo analizado, pero no su intensidad.

El espectro depende de tres factores principales:

1. la envolvente espectral, es decir, la intensidad relativa de los parciales;
2. la envolvente dinámica, en particular la conjunción de las envolventes dinámicas de cada uno de los parciales;
3. los transitorios, que son parciales de muy corta duración que se generan en el ataque pero también en la caída de un sonido. Ello hace que todos los sonidos tengan siempre una componente de ruido

proveniente de los juegos de llaves, de la embocadura del músico o del frotamiento del arco.

Por otro lado, el timbre es un fenómeno dinámico, lo que quiere decir que varía en el tiempo. Esto se debe a la evolución de las envolventes dinámicas de cada uno de los parciales que hace que la intensidad relativa de los parciales sea distinta en cada momento. La envolvente acústica es la curva que se obtiene a partir de la representación de la onda uniendo todas las crestas (figuras 2.15 y 2.16), es decir, los puntos de máxima amplitud de cada uno de los armónicos constitutivos del sonido.

2.2.4. Fases del sonido

Exceptuando el sonido generado electrónicamente en un laboratorio, ningún sonido se inicia con un régimen estacionario, esto es, no comienza ni termina bruscamente, sino que en su proceso vital experimenta tres fases: ataque, estacionaria y caída.

En la fase inicial de ataque, el sonido pasa de un estado de reposo al estado de máximo régimen. Esta fase suele incluir ruidos mecánicos derivados de la acción de embocar e insuflar que se le imprime al instrumento. El ruido es una vibración irregular; sin embargo, este elemento también interviene en el proceso sonoro y su concurso deviene en algo necesario para el reconocimiento de un timbre determinado. Se dice, en este sentido, que el timbre resultante de estos ruidos es transitorio y de duración variable, pero el papel que desempeñan en las sensaciones auditivas es fundamental.

La identificación del timbre de un instrumento cuando se suprime el ataque inicial se torna difícil. Efectivamente, se ha demostrado que si se elimina el comienzo de una nota grabada en una cinta y se reproduce más tarde filtrando su ataque inicial, la dificultad de reconocer el instrumento que está sonando puede ser muy considerable.

Tras esta fase inicial, el ruido disminuye y el sonido sufre una relajación o decaimiento. Si se transmite la energía necesaria y el sonido tiene la suficiente duración, se consigue un régimen estable y permanente que permanece inalterable en tanto en cuanto se mantengan las condiciones que lo originaron. Esta fase recibe el nombre de estacionaria. En estos momentos de sostén sonoro es donde se verifican en toda su intensidad sus componentes armónicos que constituyen la banda de resonancia natural o el denominado formante del sonido. Independientemente de la altura del sonido fundamental, existe un ámbito de frecuencias fijas que se componen de sonidos parciales o armónicos con sus respectivas amplitudes. En este sentido, Helmholtz sostenía que el timbre de los sonidos dependía de la relación entre las frecuencias de los distintos armónicos y la frecuencia de la fundamental. Esta teoría fue posteriormente rebatida por E. Schumann y su teoría del formante, en virtud de la cual para cada timbre existe una banda estrecha de frecuencias de altura fija que siempre está presente con independencia de la frecuencia de la fundamental.

Esta teoría se basa en las siguientes leyes:

1. El timbre de los instrumentos viene determinado, independientemente de la altura del sonido fundamental, por un ámbito de frecuencias de alturas sonoras fijas, denominado ámbito de formantes, el cual está configurado por sonidos parciales de diferentes intensidades.
2. Al aumentar la intensidad de un sonido, el máximo se desplaza a un nivel superior en el orden de los sonidos parciales, intensificando los componentes superiores y debilitando los inferiores.
3. En sonidos con dos ámbitos de formantes al pasar de una intensidad de piano a fortísimo el máximo pasa a su vez del ámbito inferior al superior.
4. Junto con la altura absoluta del ámbito de formantes y la intensidad de cada uno de los parciales, es determinante para el timbre el

intervalo que forman, con independencia de la altura de la fundamental, los sonidos parciales más intensos de uno y otros ámbitos (figura 2.15).

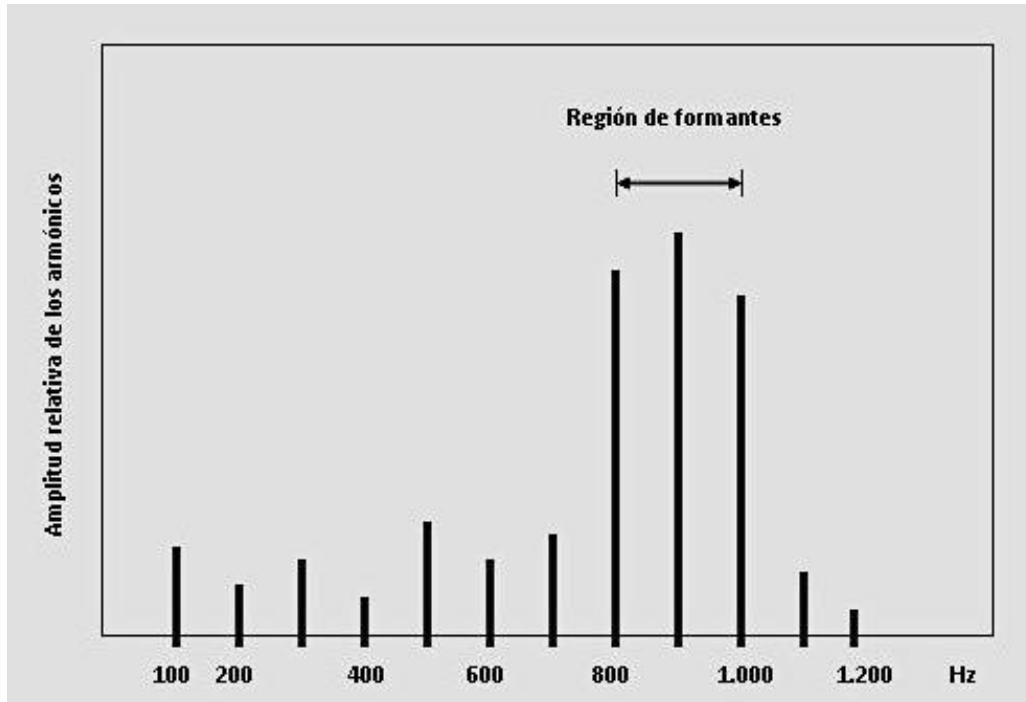


Figura. 2.15. Región de formantes para un tono de 100 Hz

Finalmente, se produce el proceso de extinción sonora que definimos como caída. Este declive del sonido comienza tan pronto como cese la energía generadora. Puede suceder tras el momento en el que el sonido ha alcanzado su régimen máximo, o bien, de persistir la energía necesaria, hasta que ésta se extinga.

Estos factores, a su vez, son dependientes de la geometría y naturaleza física del cuerpo vibrante, de la forma en la que se perturba, así como de la radiación sonora y de las condiciones acústicas de la sala. No será igual el espectro de un sonido medido dentro del instrumento, que el obtenido en el exterior. Ni tampoco si se mide en una sala cualquier o si se hace en un ambiente anecoico donde no existe la reverberación o la resonancia y, por tanto, las reflexiones sonoras (figura 2.16).

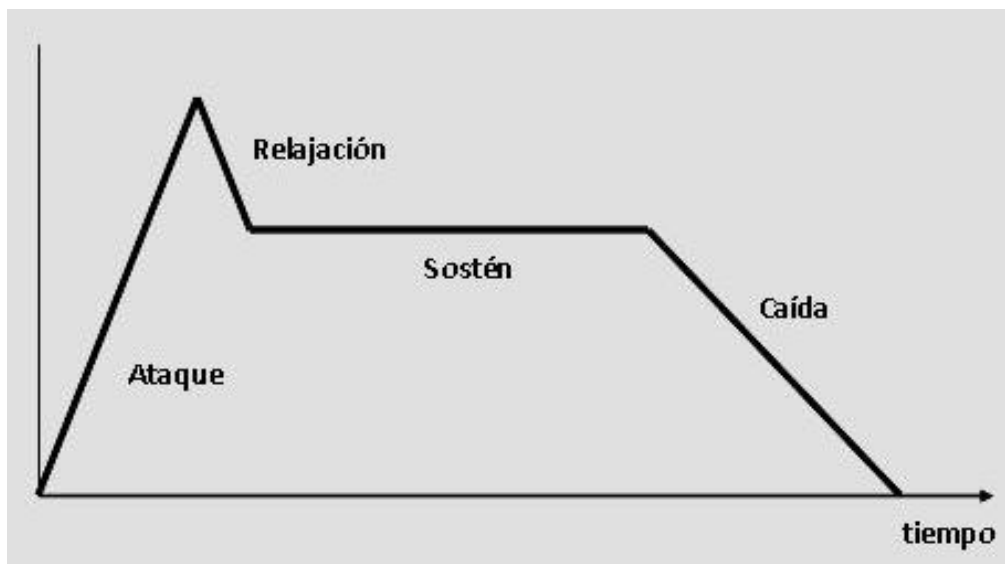


Fig. 2.16. Estructura de la envolvente

En resumen, el número de armónicos que conforman y determinan el timbre de cada sonido depende del cuerpo sonoro productor y de su modo de excitación, lo cual revela que el timbre de un sonido nos aporta la procedencia y su modo de obtención. Pero también se halla relacionado con los procesos de ataque (A), relajación o decaimiento (D), sostenimiento (S) y caída o relajación de un sonido, así como el papel secundario que juega en la percepción tímbrica un cierto ruido marginal producido por los dedos, juegos de llaves, embocadura, etc.

Su contribución en el resultado puede resultar subliminal para reconocer un determinado timbre instrumental. Para poder sintetizar los sonidos de forma que se asemejen el máximo posible a los sonidos producidos por los instrumentos musicales reales, los sintetizadores pueden controlar tanto las pendientes como los tiempos de duración de las fases ADSR (figura 2.17).

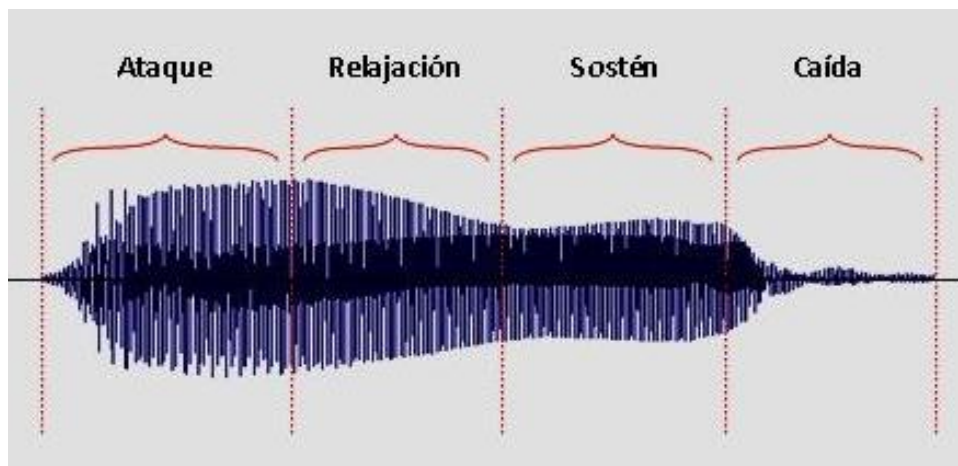


Fig. 2.17. Envolvente de una nota real interpretada por una trompeta

Si se observa el espectro de la figura 2.18, la primera línea corresponde al primer armónico o fundamental, la segunda al primer parcial de frecuencia doble de la fundamental, la tercera al segundo, de frecuencia triple, etc. La intensidad decrece progresivamente a medida que se asciende por la serie armónica, esto es, hay una disminución de la amplitud, lo que se traduce en una pérdida de sensación auditiva. En los espectrogramas o espectros de frecuencia generalmente la intensidad se representa en escala negativa. Pero esto no quiere decir que 0 dB se corresponda con la ausencia de sonido, sino que debe entenderse como un nivel de referencia. En realidad, el cero de presión o intensidad sonora se corresponde con el infinito en dB. Sin embargo, es importante reducir la presión o intensidad sonora al cero debido al movimiento termal de moléculas, o no ser que se mida en un vacío. Este nivel se sitúa generalmente sobre el límite del oído humano –en la gama de frecuencias más sensible–.

Recuérdese que la sensación o sonoridad no es proporcional al estímulo o intensidad, sino a su logaritmo. El logaritmo de uno es cero, entonces el dB cero se corresponde al nivel de referencia. Los números mayores que uno tienen logaritmos positivos y, por tanto, los niveles de sonido medidos son mayores que el de referencia. Por su parte, los números menores que uno presentan logaritmos negativos, lo cual nos dice que los niveles sonoros medidos con decibelios negativos están por debajo del nivel de referencia, es decir, de la unidad.

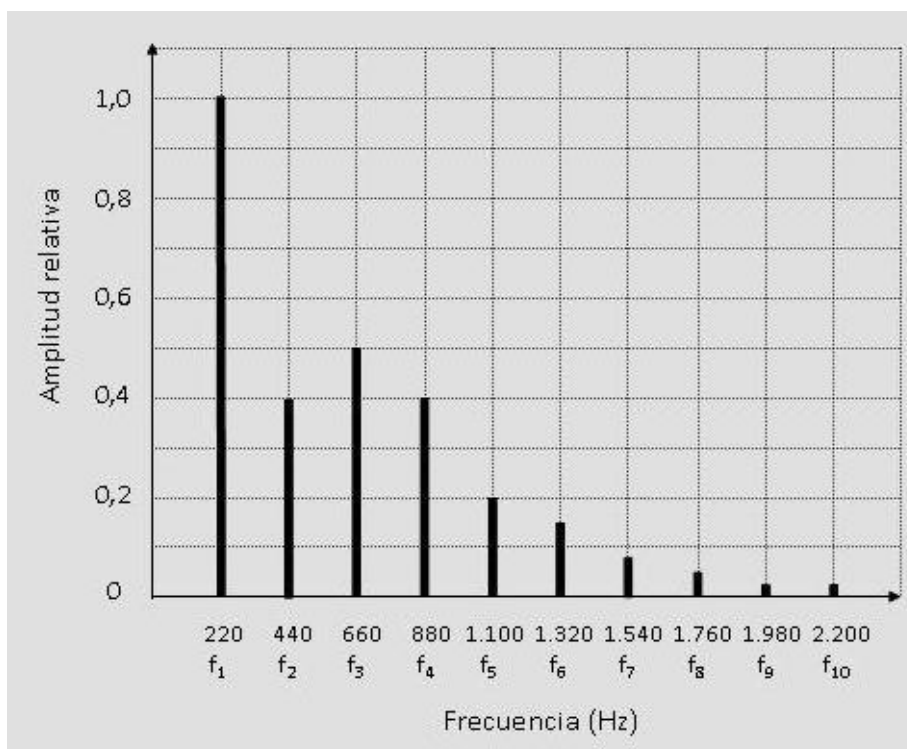


Fig. 2.18. Espectrograma de la nota LA₃ (220 Hz) emitida por un piano

2.2.5. Otras cualidades sonoras

Para caracterizar el timbre de un instrumento musical hay que considerar algunos factores influyentes. En primer lugar, no es igual el espectro de un sonido medido dentro del instrumento, que el obtenido en el exterior, donde entran en juego múltiples factores: características de radiación, direccionalidad, existencia de reverberación, etc.

La cantidad de radiación sonora, esto es, la energía sonora que expulsa el instrumento al exterior, depende de la relación que se establece entre el

diámetro de la abertura del cuerpo resonador y la longitud de onda. Ampliando esta relación se facilita una mejor difracción y reflexión sonora y las ondas se irradian de forma isotrópica en el primer y segundo orificio abierto que encuentran. Si se reduce esta relación ampliando la abertura, las ondas, especialmente las de frecuencias altas, se difractan peor y sus frentes se distorsionan, amén de debilitar su reflexión. En cualquier caso, el sonido radiado es, aproximadamente, un 1% de la energía sonora total dentro del instrumento, el resto se consume en pérdidas termales y viscosas dentro del tubo o cuerpo resonante.

En cuanto a las características direccionales de un instrumento musical, podemos definir las como la respuesta a la salida sonora como una función del ángulo en relación a algún eje de referencia del sistema. Efectivamente, la intensidad del sonido irradiado en los instrumentos musicales varía con la dirección de observación en lo que concierne a un eje de referencia del sistema. En general, el patrón de radiación varía con la frecuencia emitida debido al fenómeno de la difracción. En frecuencias con largas longitudes de ondas la radiación se produce isotrópicamente en la abertura, que actúa como un centro emisor de ondas en todo su perímetro. Por el contrario, en frecuencias altas, con longitudes de onda cortas, la radiación tiende a concentrarse en una sola dirección. Por consiguiente, este comportamiento acústico contribuye a que la radiación de sonidos agudos sea bastante direccional.

Además, la radiación de un instrumento puede diferir considerablemente según la posición del oyente o del micrófono, si el ambiente es casi anecoico. Por suerte, los ambientes donde más escuchamos tienen superficies reflectantes cerca del instrumento y un campo difuso y reverberante moderadamente fuerte. En estas circunstancias, la calidad sonora que escuchamos está bastante cerca del equilibrio espectral del total de energía irradiada, a condición de que el oyente esté en una distancia razonable del instrumento.

2.3 ACÚSTICA DE LA TROMPETA

Los tubos sonoros de sección cónica son capaces de producir toda la serie armónica (figura 2.9), aunque si se fuerza la vibración de los labios se puede conseguir reforzar armónicos que no pertenecen a dicha serie. Así, la vibración de los labios genera una serie de armónicos en el flujo del aire desde la boquilla al instrumento. Si esta vibración no coincide con las resonancias propias del tubo del instrumento, el sonido es débil y poco estable, pero si las vibraciones procedentes de la boquilla coinciden con las resonancias propias del tubo sonoro, se crea el denominado régimen de cooperación de la oscilación, obteniéndose un sonido estable, con una buena afinación y un timbre rico. Este régimen de oscilación puede producirse incluso si la frecuencia de vibración de los labios no es cercana a los modos de vibración de la columna de aire contenida en el tubo sonoro, debido a que algunos de los armónicos graves encuentran resonancias que se amplifican en la columna de aire (Herbert y Wallace, ed., 2002).

La manera de producir el sonido es pues la característica común a todos los instrumentos de viento metal. El flujo de aire producido por el intérprete es modulado por la vibración de los labios que se sitúan sobre la boquilla en uno de los extremos del tubo sonoro. Los labios del intérprete sellan herméticamente con el aro de la boquilla que al oscilar producen la vibración de la columna de aire del interior del tubo sonoro. Cuando el sonido es estable, las ondas estacionarias viajan y se reflejan en cada extremo del tubo sonoro del instrumento. Por un lado en la apertura labial al soplar, ya que los labios se comportan como si estuviesen cerrados reflejando la mayor parte de la onda. En el otro extremo del tubo la campana, pabellón o final acampanado, diseñado para reflejar la onda y para producir la suficiente radiación que posibilite la emisión sonora.

El sonido que se produce en el interior del tubo sonoro posee una mayor intensidad que el producido por el instrumento en el aire circundante. Se establece un equilibrio en la energía de las ondas estacionarias para su

mantenimiento, así, la energía se disipa en tres grandes procesos. En la emisión de energía sonora al ambiente, en el de la fricción y rozamiento de la onda con las paredes del tubo y en la fricción de los labios del intérprete que vibran a una frecuencia impuesta por el propio tubo sonoro (Herbert y Wallace, ed., 2002). Si esta vibración de los labios se produce a la frecuencia correcta, se restaura energía a la disipada.

Todos los instrumentos de viento metal consisten en un tubo. En uno de sus extremos se coloca una boquilla contra la que el intérprete apoya sus labios y puede conseguir un cierre hermético. Las propiedades acústicas de los instrumentos de viento metal dependen de las interacciones del intérprete, en particular de las cavidades bucales y los labios, la columna de aire dentro del instrumento, y el aire ambiental en el otro extremo del instrumento. La columna de aire dentro del tubo se pone en vibración cuando es excitada por el zumbido –buzz / vibración- de los labios del intérprete contra la boquilla.

Para producir un sonido sostenido, es decir prolongado, largo y continuo, en un instrumento de viento metal es necesario la creación de ondas estacionarias, ondas sonoras que viajan de un extremo al otro y se reflejan en cada extremo, como ondas de agua en una bañera. Aunque el intérprete al vibrar y soplar a través de sus labios los abra, estos están fundamentalmente cerrados el suficiente tiempo para reflejar la mayor parte de las ondas sonoras que viajan hacia ellos a través del instrumento. Si el otro extremo del instrumento finaliza abruptamente, como en una corneta, o finaliza con una campana, como en una trompeta, las ondas sonoras son reflejadas por el final de la campana o la zona acampanada.

El sonido dentro del instrumento es mucho más intenso que el sonido producido por el instrumento en el aire circundante. La campana de un instrumento debe ser cuidadosamente diseñada de manera que refleje el suficiente sonido para poder crear las ondas estacionarias, y al mismo tiempo permitir que escape suficiente sonido audible con una intensidad apropiada para ser útil musicalmente (Herbert y Wallace, 2002). Por esta razón, las

campanas de los instrumentos de viento metal presentan un limitado rango de patrones, así, por ejemplo una campana con forma similar a la bocina de un gramófono no funcionaría.

Las ondas estacionarias pierden una parte de su energía en el aire ambiental como sonido audible, otra parte en la fricción o rozamiento con las paredes del instrumento y otra pequeña parte con los labios del intérprete, que están obligados a vibrar a una frecuencia en cierta medida impuesta por el instrumento. Al mismo tiempo, el intérprete añade energía con la vibración de la columna de aire en la frecuencia correcta soplando a través del zumbido (*buzzing*) de sus labios restaurando la energía sonora que está siendo disipada.

El aire dentro del instrumento de viento metal, el cual está efectivamente cerrado por uno de sus extremos por los labios y abierto por el otro, puede sostener ondas estacionarias en ciertas bien definidas frecuencias, conocidas como las frecuencias de los modos de vibración de la columna de aire. Si la frecuencia de la onda está ligeramente alta o baja respecto a estas frecuencias, las ondas estacionarias son posibles, pero será más débil.

Estos modos de frecuencia forman una serie que es más extensa para tubos estrechos como los de la trompa o la trompeta natural que para tubos anchos como la corneta o el oficleido. Para un tubo cónico perfecto, las frecuencias deben corresponder numéricamente a la serie armónica, que se define como una serie de números, en este caso frecuencias, que son múltiplos enteros exactos de la frecuencia más grave o frecuencia fundamental (Herbert y Wallace, 2002).

Para un tubo cilíndrico perfecto, las frecuencias se corresponderían con los miembros de números impares de la serie armónica. Los instrumentos de viento metal reales no son ni perfectamente cilíndricos ni totalmente cónicos, y los modos de vibración dependen de la forma interna del instrumento. Los

tubos son musicalmente más útiles si varias de las frecuencias de varios de los modos de vibración se aproximan a la serie de armónicos.

En el caso de los instrumentos con una gran proporción de tubo cilíndrico, como es el caso de las trompetas y los trombones, la boquilla y la campana necesitan ser cuidadosamente diseñadas para que esto sea posible. Aun así, el primer o segundo armónico de la serie de los modos de vibración de las trompetas y los trombones, difieren considerablemente de la serie de armónicos (Herbert y Wallace, 2002). El arte de los constructores de instrumentos de viento metal es dar con los modos de las frecuencias más útiles, fuertes y con mayor tolerancia.

Cuando un instrumento de viento metal emite un sonido sostenido, el aire del interior del instrumento no vibra solo a la frecuencia de vibración de los labios del intérprete, sino también a las frecuencias múltiplos enteros de ésta. Estos son los componentes del espectro del sonido, denominados sobretonos; el componente más grave, cuya frecuencia es aquella a la que vibran los labios, es la fundamental. Las frecuencias de las componentes espectrales del sonido cuando se interpreta una sola nota sostenida sin vibrato son las de la serie armónica.

El sonido que sale de la campana del instrumento también contiene esos componentes espectrales, y son las intensidades relativas de esos componentes los que determinan el timbre del sonido sostenido de un instrumento. Sin embargo, diferentes notas interpretadas con el mismo instrumento tendrán un espectro diferente: una nota aguda puede tener una cantidad significativa de energía acústica en solo dos o tres componentes, mientras que una nota grave puede tener un espectro rico con cantidades significativas de energía en quince o más frecuencias. Por ello es más fácil distinguir dos instrumentos de viento metal comparando sus notas graves que sus notas agudas. Las notas fuertes no solo tienen energía en cada componente espectral, sino un espectro más extenso. Debido a ello, la

grabación de una nota fuerte puede ser reconocida como fuerte incluso si se reproduce a un bajo volumen.

La serie de frecuencias fundamentales de las notas que pueden ser interpretadas forman solo una aproximación de la serie armónica, aunque a veces se les denomine los armónicos. Si las frecuencias de los modos de vibración de la columna de aire forman una serie armónica, entonces las frecuencias de las notas centrales estarán disponibles para el intérprete de la serie armónica.

En la serie armónica de Do, tenemos las alturas de los 24 modos de vibración en el aire a 25°C en un tubo cónico ideal de 2,65 m. Los modos de frecuencia que se separan más de los de la escala se representan en negro. Una trompeta bien afinada en Do permitirá la interpretación de una cierta cantidad de esta serie de notas sin presionar las válvulas o pistones, dependiendo del calibre del tubo y de la habilidad del intérprete. Una trompeta natural, por ejemplo, normalmente podría emitir los armónicos del 3 al 20 (figura 2.19).



Figura. 2.18. Escala de los armónicos a partir del DO₂

Sin embargo, esto es un caso ideal y el comportamiento de un instrumento real es mucho más complejo. Con el fin de que el instrumento hable y produzca un

sonido bien definido, varios de los armónicos de la nota interpretada necesitan resonar con los modos de vibración del tubo. En muchos casos, la frecuencia fundamental de la nota está muy cerca de los modos de frecuencia; además, para producir la calidad de tono esperado de un instrumento de viento metal, sus componentes espectrales o armónicos, también resuenan con los modos agudos de vibración de la columna de aire dentro del tubo (Herbert y Wallace, 2002). La interacción de los componentes armónicos del sonido con la columna de aire, denominado régimen de cooperación, es un efecto importante.

Por un lado, el régimen de cooperación puede permitir un sonido mantenido incluso si la fundamental no se corresponde con el modo de vibración de la columna de aire – esto es por lo que un trombonista puede interpretar una nota pedal o un intérprete de tuba puede hacer sonar notas artificiales que no están en la serie habitual.

Por otro lado, si los modos de vibración tienen una pobre correspondencia con los armónicos de la nota que se está interpretando, la nota será de pobre calidad, difícil de emitir y estará probablemente desafinada. Como la columna de aire puede sostener o mantener las ondas estacionarias de las frecuencias ligeramente superiores o inferiores a las frecuencias de los modos de vibración, el intérprete tiene un cierto margen con sus labios para modificar hacia arriba o hacia abajo la afinación de la nota y para utilizar el vibrato en una nota.

En el caso de instrumentos de tubo de ancho calibre, como las cornetas, existe solo un pequeño número de modos de vibración de la columna de aire que poseen la suficiente fuerza para contribuir a la generación de sonido sostenido o mantenido (estable), por lo tanto los regímenes de cooperación son menos importantes que los que permiten la afinación de las notas graves en instrumentos de tubo de diámetro más estrecho como en la trompa y en el trombón; como consecuencia de ello, muchos de los instrumentos de la familia de la corneta no están bien afinados. En el caso de los instrumentos con orificios tonales como los cornetos y los serpentones, la situación es compleja: la serie de notas que pueden ser producidas con una digitación dada

generalmente no es una aproximación cercana a la serie armónica. En esos instrumentos, por ejemplo, una nota y su octava superior generalmente tienen digitaciones diferentes.

Hasta el momento hemos discutido de sonidos sostenidos. Con el fin de hacer sonar una nota, los intérpretes de viento metal tienen que poner sus labios en vibración, enviando un pulso de sonido hacia la campana. En el momento en que el sonido inicial se refleja de vuelta y puede interactuar con los labios para establecer un sonido mantenido estable, los labios han vibrado al menos un ciclo completo.

Capítulo 3

Montaje experimental, metodología y plan de trabajo

El presente estudio se ha realizado en una cámara anecoica, es decir, en una cámara de material absorbente que no presenta reverberación. Las diferentes tomas con los diferentes tipos de boquillas y de sordinas se han realizado en tres sesiones, siempre considerando que las condiciones más influyentes en el experimento permaneciesen constantes. A este respecto, la cámara anecoica y la sala contigua poseían las mismas condiciones de temperatura, gracias a un equipo de refrigeración que se conectaba tres horas antes del inicio de las sesiones, y que mediante un termostato hacía que la temperatura se mantuviese constante. Cabe mencionar también la importancia y la influencia de la temperatura en la transmisión del sonido. Las diferentes sesiones se realizaron con el mismo trompetista profesional y autor de la presente tesis para todos los tipos de boquillas y de sordinas. Todas las sesiones se realizaron a la misma hora de la mañana y durante un periodo no superior a un mes.

3.1. LA TROMPETA: MARCA, MODELO Y CARACTERÍSTICAS

La trompeta utilizada en todas las experiencias, tanto para boquillas como para sordinas, ha sido una Yamaha en DO, modelo Xeno, plateada, con dos años de estudio llevados a cabo por el propio intérprete de las experiencias y autor de esta investigación (figura 3.1).



Figura 3.1. Trompeta Yamaha en Do modelo Xeno

Las características de esta trompeta son: tubo de 1,314 m de longitud y 11,73 mm de diámetro, y campana de 123 mm de diámetro.

3.2. LA CÁMARA ANECOICA

Estas experiencias se han realizado en la cámara anecoica de la Universitat Politècnica de València, grabándose la señal acústica mediante dos micrófonos que enviaban la señal a una grabadora DAT. Estos resultados se han analizado mediante el programa de tratamiento de señal sonora Adobe® Audition® CS6.

La cámara anecoica constaba de un montaje con dos micrófonos direccionales entre los cuales se situaba el instrumentista a una distancia de metro y medio. En la estancia contigua un equipo de grabación digital registraba la señal recogida por los micrófonos.

En esta sala también se disponía de un monitor que permitía al equipo de grabadores observar al intérprete y saber cuándo necesitaba salir, ya que la comunicación con el interior de la cámara una vez sellada la puerta es imposible. En la figura 3.2 se muestra un diagrama de la cámara anecoica, la posición del instrumentista y los micrófonos.

Mediante la grabación se obtiene una señal estéreo con dos canales de respuesta, debido a la toma de sonido de los dos micrófonos direccionales. El canal superior corresponde al micrófono situado a la izquierda del intérprete y el canal inferior al micrófono situado a la derecha. Una vez obtenidos ambos canales, se procesan y se obtiene la señal mezcla de ambos canales.

Esta es la señal que posteriormente se normaliza a -3 dB para que el máximo de intensidad obtenido en cada una de las tomas y notas emitidas coincida, gracias a lo que podrán ser comparadas.

Cabe señalar que los resultados de todas las señales analizadas están dentro del ámbito de la acústica física, sin entrar en interpretaciones psicológicas o en el análisis de las sensaciones acústicas por parte del oyente.



1. Cámara anecoica, de material absorbente acústico que no presenta reverberación, utilizada para efectuar mediciones acústicas.
2. Micrófonos direccionales
3. Posición del intérprete
4. Cámara de vídeo
5. Monitor de la cámara de vídeo
6. Equipo de grabación DAT
7. Puerta de entrada a la cámara anecoica totalmente sellada
8. Equipo de refrigeración
9. Sala anterior a la cámara anecoica con los equipos de grabación
10. Puerta de entrada a la sala con los equipos de grabación

Figura 3.2. Diagrama del montaje experimental

3.3. EXPERIENCIAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se describen las experiencias realizadas tanto para boquillas como para sordinas.

3.3.1. Boquillas

El estudio de los diferentes materiales empleados en la construcción de boquillas para trompeta permite demostrar de forma objetiva las características y prestaciones de cada uno de los casos. Para la realización de esta tesis se han empleado un total de siete materiales diferentes. Algunos son los habitualmente utilizados y otros se han empleado para el estudio experimental y, realizado el estudio, también para su posterior aplicación en el campo interpretativo en los casos en que se revelarán más adecuados.

Los siete materiales utilizados son: PVC, nylon, grafito, granadillo, palo violeta, olivo y latón. Este estudio pretende contribuir a esclarecer la elección apropiada para cada situación, así como mostrar las características propias de la boquilla de latón, elección mayoritaria de los intérpretes, y de los otros materiales (figura 3.3).

Para la realización de la experiencia, a partir de un mismo modelo de boquilla, se han construido mediante técnicas de torneado digital réplicas exactas con los diferentes materiales. Estas experiencias realizadas para el análisis y estudio de los diferentes tipos de materiales en un mismo modelo de boquilla han sido las siguientes: emisión de la nota LA4 = 440 Hz tres veces solo con la boquilla, emisión de la nota LA para los tres registros (grave, medio y agudo), es decir las notas LA3 = 220 Hz, LA4 = 440 Hz y LA5 = 880 Hz, con las boquillas insertas en un mismo modelo de trompeta y para tres intensidades sonoras características, fuerte, medio fuerte y piano.

En todos los casos, las experiencias se repitieron tres veces para su posterior estudio promediado. La afinación de la trompeta se realizaba con anterioridad a cada una de las tomas realizadas.

PVC



NYLON



GRAFITO



GRANADILLO



PALO VIOLETA



OLIVO



LATÓN



*Figura 3.3. Materiales de las boquillas del estudio
(fotos del autor)*

3.3.2. Sordinas

Para el estudio de las sordinas se han empleado los tres tipos más comúnmente utilizados: sordina ordinaria (straight), sordina cup y sordina harmon (wah-wah) en sus tres posiciones posibles. A su vez, para cada uno de los modelos se realiza un estudio para diferentes materiales de construcción. En el estudio de la sordina ordinaria se han utilizado los siguientes materiales: aluminio, aluminio-latón, aluminio-cobre, cobre, PVC, cartón fibra duro y cartón fibra blando. En la sordina cup: cartón fibra duro, cartón fibra blando, PVC, aluminio negro, aluminio blanco. En la sordina harmon: aluminio blanco, cobre y aluminio rojo (figura 3.4).

La experiencia consiste en interpretar una escala cromática desde la nota FA#3 hasta la nota DO6, repitiendo tres veces cada nota. Esta experiencia se repite para los diferentes modelos y materiales, y para la intensidad de mezzoforte.



Figura 3.4. Sordinas del estudio

Capítulo 4

Boquillas. Investigación experimental

4.1. DESCRIPCIÓN Y PARTES DE UNA BOQUILLA

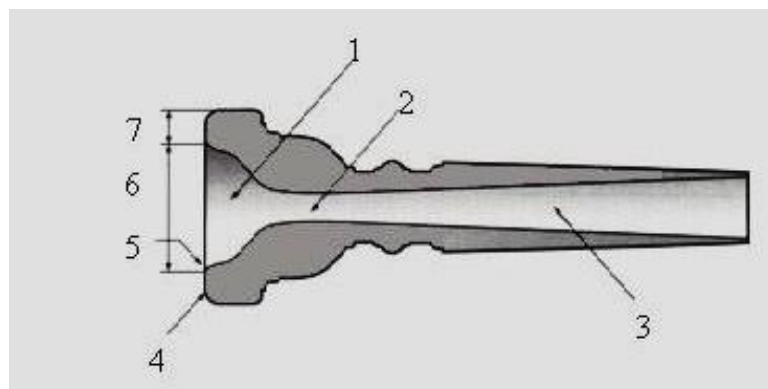
La perfecta armonía entre la boquilla y el instrumento darán como resultado la respuesta sonora óptima en el momento adecuado. Cada uno de estos dos factores es de igual importancia. En esencia podríamos decir que la boquilla crea el sonido mientras que el instrumento lo matiza. La disposición de la boca y el tipo de labios del intérprete condiciona la clase de boquilla que el músico ha de escoger. Esto hace que la elección ideal no sea un asunto en absoluto fácil, pues se trata de aunar la configuración física del intérprete con la forma y dimensiones de la boquilla.

Una boquilla adecuada facilita la ejecución y permite obtener del instrumento el mayor partido posible, sintiéndose el músico mucho más despreocupado por posibles problemas de emisión y ejecución. Una boquilla inadecuada perjudica al músico, impidiéndole desarrollar sus cualidades personales y añadiendo dificultades a las inherentes a la obra que está ejecutando.

Los talleres de construcción de boquillas más importantes han confeccionado y arreglado boquillas para músicos muy importantes de las grandes orquestas españolas, y en muchos casos la consecución de mejoras ha sido rápida y precisa, consiguiendo facilidad y confort o más potencia y profundidad. Pero también ha habido casos en los que el trabajo ha sido arduo, investigando durante meses, sin unos criterios claros, con un resultado ambiguo.

Todo depende de que los aspectos que se quieran mejorar estén claros y no constituyan una quimera. Por ejemplo, es una contradicción tratar de conseguir una boquilla que facilite a la vez la emisión de las notas graves y las agudas, pues el principio fundamental es que una boquilla grande facilita las notas graves y una pequeña los agudos. No se puede fabricar una boquilla grande y pequeña a la vez. Pero lo que se puede conseguir es el retoque de ciertos puntos que pueden facilitar la emisión y mejorar el sonido, o reconfigurar el concepto de la propia boquilla para adaptarse a las condiciones particulares.

Las boquillas de los instrumentos de viento metal, a la que pertenece la trompeta, están formadas esquemáticamente por un anillo o aro, la copa, el granillo y el tudel (figura 4.1). Todos estos componentes deben construirse con la adecuada relación, pues de esta dependerá el tipo de boquilla. En las boquillas para trompeta, si el aro presenta un acabado redondeado mejora el contacto con los labios del intérprete, mientras que un perfil más pronunciado incrementa la precisión en el ataque y aumenta la brillantez del sonido. Las dimensiones del anillo también influyen en el resultado sonoro final: con un aro estrecho se logra una mejora en la flexibilidad del registro, frente a los aros anchos en los que se incrementa la resistencia.



- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. Copa | 5. Borde interno |
| 2. Cuello | 6. Diámetro de la copa |
| 3. Cuerpo | 7. Grosor del borde |
| 4. Anillo o Contorno del borde | |

Figura 4.1. Esquema de una boquilla de trompeta

4.1.1. El anillo

Se divide en tres partes: diámetro interior, grosor del borde y punto culminante. El diámetro interior es la medida del interior del círculo del anillo. Está directamente relacionado con el tipo de labio del intérprete, pues proporcionara la cavidad donde el labio tendrá que vibrar. Es decir, cuanto más grande sea el diámetro, un labio grande estará más libre y podrá articular y vibrar con facilidad, permitiéndole desarrollar sonidos graves sonoros y profundos, al mismo tiempo que los sonidos agudos podrán interpretarse con facilidad puesto que los labios son amplios. Por el contrario, un diámetro estrecho será útil para músicos que tengan un labio pequeño o fino, pues sujetará la vibración y el esfuerzo en las notas agudas será considerablemente menor.

El grosor del borde del anillo también está relacionado directamente con el grosor del labio. Aquí es donde la carne del labio toca el metal y, por tanto, está íntimamente relacionado con el confort. Es el punto que normalmente, junto con el granillo, más interesa al músico, pues si es ancho dañará menos al labio y permitirá al intérprete tocar más cómodamente durante más tiempo, pues la superficie de apoyo al ser más amplia cortará menos al labio. Pero el inconveniente de un borde ancho es que sujeta demasiado los labios y no permite articular los sonidos con rapidez y facilidad. Por lo tanto, el borde ancho es ideal para un músico de labios finos, y el borde fino para alguien que tenga los labios grandes, ya que al tener suficiente carne en los labios, estos harán de almohadilla, y no necesitará por tanto un borde ancho que le dificultará la articulación. Hay casos excepcionales en que el músico, por el tipo de trabajo, tiene que tocar durante muchas horas y en todo caso lo que necesita es un borde que le permita interpretar durante mucho tiempo sin cansarse. En este caso, un borde ancho le ayudará a sobrellevar este esfuerzo.

Situados dentro del borde, el punto culminante es el lugar álgido donde la presión del labio contra la boquilla se concentra. La presión de este punto estará en relación con el tipo de circunferencia que forme el borde. Si la

circunferencia es amplia el punto culminante será menos agudo y habrá una sensación de mayor confort. Si es pequeña, el punto de contacto con la presión del labio será más estrecho y podrá dañarlo si el trabajo con la boquilla se alarga. También hay bordes casi completamente planos; en estos casos, la comodidad es aún mayor.

Si el punto culminante es demasiado plano, sujeta mucho el labio, con la consecuente sensación de confort, pero la agilidad de ejecución y articulación se dificulta, no permitiendo al labio moverse libremente. De nuevo aquí hay que tener en cuenta el grosor del labio, pues un labio grueso podrá soportar más fácilmente que uno fino un punto culminante agudo. Por el contrario, el labio fino que necesita un punto culminante más amplio, debido a su configuración, se moverá con más agilidad en el interior de la boquilla, que el grueso.

4.1.2. La copa

El tamaño de la copa influye de forma directamente proporcional en el volumen sonoro. Para boquillas con copas más profundas se obtiene un sonido más oscuro, y para copas poco profundas el sonido obtenido gana en brillo y mejora el ataque.

La profundidad y el volumen de la copa de la boquilla son los responsables de la sonoridad, la riqueza de armónicos y la facilidad para la interpretación de las notas agudas o graves. La mayor o menor profundidad de la copa influye directamente en la facilidad para la emisión de las notas agudas o graves. Una copa profunda ayuda al músico a interpretar los pasajes de tesitura media y baja, aumentando la riqueza de armónicos y la sonoridad general. También una copa de estas características será muy adecuada para músicos de labios gruesos, pues compensará la pérdida de volumen por la introducción del labio dentro de la boquilla. Sin embargo, una boquilla poco profunda ayuda a la realización de las notas agudas.

Algunos intérpretes de música de jazz o cubana utilizan boquillas muy poco profundas para tener más facilidad en las notas agudas y sobre-agudas, pues a lo largo de una actuación, que se puede prolongar durante horas, si no llevaran este tipo de boquilla, tendrían que forzar los agudos a base de labio y esto podría provocarles daños.

Otro elemento clave es la forma de la copa. Hay básicamente dos tipos de formas de copa en V y en C. La forma en V facilita la proyección y da un sonido claro. Tiene las propiedades de los instrumentos cónicos, en los que la columna de aire viaja con facilidad a lo largo del tubo, mejorando y compensando la emisión. El inconveniente de este tipo de boquillas es que se pierde en parte la riqueza de armónicos y la profundidad. La forma en C produce un sonido más oscuro y más resistencia, pero mejora los armónicos generales del instrumento.

La opción que se plantea más comúnmente el constructor es la de mezclar ambas formas, colocando una parte superior en forma de C y otra inferior en forma de V conectando con la salida del granillo. Esto permite tener profundidad gracias a la copa superior y, a la vez, mejorar la claridad y resistencia con la copa inferior.

4.1.3. El granillo

El granillo está directamente relacionado con la resistencia; es el regulador de la presión y la cantidad de aire introducido en el instrumento. Un granillo grande permite un sonido amplio y con volumen, admitiendo un gran chorro de aire, pero agotará al intérprete, que tendrá que poner la resistencia cerrando la garganta, sin ser muchas veces consciente de ello. El granillo deberá estar en relación directa con la capacidad física y la profundidad de la copa, así como con el tipo de música que se vaya a interpretar. Un granillo pequeño puede facilitar las notas agudas, pero estrangulará la columna de aire y dificultará la emisión.

Así, en cuanto al diámetro del granillo, que permite el paso del aire, una gran apertura mejora el volumen sonoro a costa de una mayor fatiga por parte del intérprete. Con un diámetro de granillo más estrecho se consigue incrementar la resistencia y la interpretación de los registros agudos, mientras que se pierde calidad sonora en los registros medios y graves.

4.1.4. El cono interior del tudel

Es la parte interna de la boquilla que va desde el granillo a la salida de esta. Este tudel tiene un diseño de cierta complejidad y sus dimensiones y forma afectan significativamente tanto a los registros altos como a los bajos. El diámetro de este elemento influye también en el timbre y en la resistencia. Phyllis Stork (1989) en su tratado sobre boquillas aclara este punto de la siguiente forma:

para comprender mejor los efectos provocados por los diferentes canales interiores basta aplicar los principios de apreciación con respecto a la resistencia. En regla general, reduciendo el canal se obtiene: 1: más resistencia, 2: más velocidad de aire, 3: mas vibraciones, 4: un sonido más claro, 5: notas más agudas. Ensanchando el canal se produce: 1: menos resistencia, 2: velocidad inferior del aire, 2: un sonido más oscuro.

También es importante la forma que tenga el desarrollo del cono. Un cono que tenga un desarrollo progresivo y uniforme, la emisión será suave y fácil; uno cuyo desarrollo sea muy brusco al principio y después se mantenga amplio, producirá un sonido más brillante y agresivo. La influencia del tudel o cono interior de la boquilla de trompeta afectan al resultado sonoro final en función de la combinación resultante con los elementos anteriores, fundamentalmente con la copa y el granillo.

El exterior del tudel es la parte de la boquilla que ha de encajar con el receptor de la trompeta. La importancia de este elemento no es menor que los otros, pues de su correcta conicidad y dimensiones depende el acople con el

instrumento, que en cualquier caso ha de ser perfecto, pues si hubiese alguna imperfección, la calidad y respuesta se verían inmediatamente disminuidas. Una boquilla que baila en el interior del tudel del instrumento indica que la conicidad de alguno de los tudeles no es correcta, bien el interior o el exterior.

También, dependiendo de que el tronco de cono sea mayor o menor, la boquilla entrará más o menos en el instrumento. Esto afectará a la dimensión de la cámara que se encuentra entre el final de la boquilla y la pared de encaje del tudel del instrumento. La dimensión de esta afecta en gran medida a la resistencia y claridad del sonido final.

Esta breve exposición que hemos desarrollado a cerca de la función de las diferentes partes de una boquilla, muestra que cada elemento debe estar armónicamente diseñado en relación con el conjunto. La boquilla es perfectamente susceptible de retoques y adaptaciones, pero siempre se debe respetar su armonía general. En general, puede afirmarse que en la boquilla están concentrados todos los elementos constituyentes del instrumento de viento, y cualquier modificación por leve que sea, afectara a la resistencia, proyección, comodidad, etc.

4.2. EXPERIENCIAS REALIZADAS

Para la realización de la experiencia, a partir de un mismo modelo de boquilla, se han construido mediante técnicas de torneado digital réplicas exactas con diversos materiales. Se han construido siete boquillas de los siguientes siete materiales: PVC, nylon, grafito, granadillo, palo violeta, olivo y latón. Este estudio pretende contribuir a determinar los parámetros que aseguren la elección apropiada para cada situación, así como mostrar las características propias de la boquilla de latón, elección mayoritaria de los intérpretes, y de los otros materiales. Todas las réplicas han sido originadas a partir de una boquilla Vicent Bach numeración 1 $\frac{1}{4}$ C, de 17,00 mm de diámetro y una profundidad de copa alta (Faus, Alberola, 2008: 84).

Se podría distinguir a grosso modo entre el material con el que está construida la boquilla y el bajo o material añadido. Los materiales que conocemos en la confección de boquillas han sido: aleación de aluminio, fósforo, bronce, cobre, acero, teflón, nylon, plata, latón. En cuanto al material añadido, no afecta realmente al sonido, sino solamente a la apariencia y al tacto. Lo más empleado en el acabado de las boquillas es el oro y la plata.

También es frecuente ver anillos hechos de plástico que, sin afectar al sonido, pueden ser de gran utilidad a personas que tienen alergia a los metales o que tienen que tocar al aire libre; a estos últimos, el plástico o el nylon les alivian del frío que el metal puede producir en los labios. El material preferido en la construcción de boquillas es el latón en diferentes proporciones de cobre y zinc, por su precio y muy buena sonoridad. Algunas marcas, como Yamaha, están fabricando actualmente boquillas en plata maciza.

Con la réplica exacta de las boquillas con los diferentes materiales se acota el estudio a los propios materiales: el tipo de boquilla no varía, como tampoco la forma, y el tamaño y diámetro del aro, granillo, copa y tudel que permanecen constantes.

Para llevar a cabo la experiencia se han realizado las mismas grabaciones con las siete boquillas, todas ellas insertas en el mismo modelo de trompeta. Para todas ellas se ha interpretado tres veces cada nota con el fin de promediar los resultados y minimizar los posibles errores debidos al factor humano del intérprete. En todas las boquillas se han interpretado por triplicado las notas LA3 afinada a 220 Hz, LA4 afinada a 440 Hz y LA5 afinada a 880 Hz para las tres intensidades típicas de piano, mezzoforte y forte (fig. 4.2).



p / mf / f

Figura 4.2. Experiencia realizada con los siete tipos de boquillas

4.3. FICHA TÉCNICA DE LAS BOQUILLAS



Figura 4.2. PVC
(foto del autor)

Material PVC
Densidad 1,42 g/cm³
Masa 16,108 g

Propiedades del material:

El cloruro de polivinilo o PVC resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetileno.¹ Es un termoplástico con estructura amorfa que se distingue por su gran resistencia a los agentes químicos y sus excelentes propiedades mecánicas. Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de aplicaciones. Alta resistencia química, fácil mecanización, buenas propiedades dieléctricas, buen comportamiento en entornos corrosivos, puede ser soldado por aportación y por contacto, buena resistencia mecánica y al impacto y tiene una elevada

¹ Vid. http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_pvc_rigido.html [Consulta: 22-1-2015]

resistencia a la abrasión.



Figura 4.3. Nylon
(foto del autor)

Material NYLON
Densidad 1,15 g/cm³
Masa 13,567 g
Propiedades del material:

El nylon, también denominado poliamida, es polímero semicristalino.² Las poliamidas poseen un magnífico cuadro de propiedades mecánicas, tenacidad muy elevada y excelentes características de deslizamiento y resistencia al desgaste.

Presenta una resistencia mecánica, dureza, rigidez y tenacidad medias-elevadas, una elevada capacidad de amortiguación mecánica, buena resistencia a la fatiga, excelente resistencia al desgaste, buenas propiedades de deslizamiento, en la mayoría de los casos, elevada absorción de humedad y en la mayoría de los casos, reducida estabilidad dimensional.



Figura 4.4. Grafito
(foto del autor)

Material GRAFITO
Densidad 2,09 - 2,23 g/cm³
Masa 21,206 g
Propiedades del material:

El grafito es una de las formas alotrópicas en las que se puede presentar el carbono junto al diamante, los fullerenos, los nanotubos y el grafeno.³ A presión atmosférica y temperatura ambiente es más estable el grafito que el diamante, sin embargo la descomposición del diamante es tan extremadamente lenta que sólo es apreciable a escala geológica. Fue nombrado por Abraham Gottlob Werner en el año 1789 y el término grafito deriva del griego γραφειν (graphein) que significa escribir. También se denomina

² Vid. <http://www.ensinger.es/es/materiales/plasticos-de-ingenieria/poliamida/> [Consulta: 22-1-2015]

³ Vid. <http://www.quiminet.com/articulos/los-usos-y-aplicaciones-mas-comunes-del-grafito-3445082.htm> [Consulta: 22 -1-2015]

plumbagina y plomo negro.



Figura 4.5. Granadillo
(foto del autor)

Material GRANADILLO

Densidad 0,78 g/cm³

Masa 12,173 g

Propiedades del material:

La madera del granadillo es bastante dura y por esta misma razón es realmente difícil inmunizarla.⁴ No obstante, tiene una durabilidad natural bastante alta, pues es resistente contra los hongos, insectos y a las inclemencias del clima. Por ser una madera realmente dura, se requieren herramientas bastante fuertes hechas en metales finos para trabajarla, no obstante tiene un acabado excelente. La madera del granadillo se utiliza para la construcción de muebles, ebanistería, remos, canoas, chapas decorativas, instrumentos musicales, construcciones pesadas, tacos de billar, artesanías, puentes e instrumentos de viento. Muy preciada por sus cualidades sonoras.



Material PALO VIOLETA

Densidad 0,98 - 1,10 g/cm³

Masa 14,113 g

Propiedades del material:

⁴ Vid. <http://infomaderas.com/2013/04/08/maderas-de-colombia-granadillo-o-guayacan-trebol/> [Consulta: 22-1-2015]

Figura 4.6. Palo violeta
(foto del autor)

El palo violeta, también denominada madera real, se usa para mueblería clásica, palos de billar.⁵ Es purpúrea, con finas y numerosas manchas negras. Apreciada por sus cualidades estéticas y sonoras. Se emplea para la construcción de instrumentos de viento. Diapasón y puente de guitarra.



Material OLIVO
Densidad 0,85 – 0,112 g/cm³
Masa 9,345 g

Propiedades del material:

Es una de las especies más duras y compactas.⁶ La madera del olivo tiene un color ocre verdoso con vetas pardas muy irregulares y de superficie fina. Los anillos anuales de crecimiento están poco diferenciados y son poco visibles. Posee un tronco nudoso y un leño muy apretado con madera blanca muy apreciada en ebanistería.

Figura 4.7. Olivo
(foto del autor)



Material LATÓN
Densidad 8,4 - 8,7 g/cm³
Masa 93,362 g

Propiedades del material:

Aleación de cobre y zinc; se realiza en crisoles o en un horno de reverbero a temperatura de fundición de unos 980 °C.⁷ Las proporciones de cobre y zinc son diversas para crear un rango de latones de propiedades variables. En los latones industriales, el porcentaje de Zn siempre está entre el 30 y 40%. Su composición influye en las características mecánicas, fusibilidad y capacidad de conformación por

Figura 4.8. Latón

⁵ Vid. <http://maderasbarber.com/las-maderas/> [Consulta: 22-1-2015]

⁶ Vid. <http://www.noticiashabitat.com/2011/caracteristicas-de-la-madera-de-olivo/> [Consulta: 22-1-2015]

⁷ Vid. <http://www.delmetal.com.ar/productos/laton.html> [Consulta: 22-1-2015]

(foto del autor)

fundición, forja, estampación y mecanizado. Generalmente se suele agregar plomo a la aleación en proporciones de entre 2 y 4% para mejorar el corte de viruta y hacer el material más mecanizable. En frío, los lingotes pueden transformarse en láminas, barras, planchuelas, caños, perfiles o cortarse en tiras susceptibles de estirarse para fabricar alambres. Su densidad también depende de su composición.

4.4. ESTUDIO ACÚSTICO DE LAS DIFERENTES BOQUILLAS

4.4.1. Espectro armónico

En este apartado se estudia y compara el espectro armónico de cada una de las boquillas interpretando el LA3, registro grave, el LA4, registro medio y el LA5, registro agudo, para las intensidades de *forte*, *mezzoforte* y *piano*.

En primer lugar, se muestran las tablas con los valores obtenidos para los 20 primeros armónicos, en el caso del LA3 y LA5, y de los 22 primeros armónicos para el LA4, con las respectivas desviaciones estándar tras el cálculo del promedio para los siete materiales de construcción de las boquillas y para las tres intensidades (tabla 4.1. y ss.).

PVC	A3 (p)	DE	A4 (p)	DE	A5 (p)	DE
1	51,67	0,85	66,00	0,47	76,40	1,22
2	53,61	1,16	61,69	0,62	70,29	4,22
3	53,34	1,39	57,31	1,35	61,49	5,21
4	50,04	1,77	51,11	2,25	50,96	5,81
5	50,98	2,88	43,42	6,05	42,03	4,81
6	49,08	3,28	34,17	5,52	34,08	6,46
7	46,48	2,73	30,63	2,41	21,67	2,17
8	41,51	2,82	24,29	2,31	18,17	1,52
9	34,45	1,37	21,13	2,00	15,16	2,86
10	30,97	2,63	16,00	2,78	14,29	2,28
11	30,86	2,23	14,61	2,71	15,46	2,60
12	26,77	3,16	13,62	3,54	6,58	1,79
13	26,46	1,75	6,55	1,26	6,08	0,69
14	22,58	3,04	3,21	1,66	2,94	1,25
15	18,99	3,51	6,16	1,75	3,27	2,84
16	15,36	3,98	3,89	2,22	2,18	3,01
17	12,72	5,70	2,83	3,44	-0,15	1,14
18	11,94	4,60	2,83	3,44	0,74	0,63

19	11,18	3,93	-1,49	1,07	0,31	0,99
20	9,25	1,94	-0,20	0,67	-1,45	0,60
21			-0,20	0,67		
22			-0,40	1,08		

Tabla 4.1. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad piano, boquilla de PVC

PVC	A3 (mf)	DE	A4 (mf)	DE	A5 (mf)	DE
1	59,77	0,44	73,85	0,60	83,74	0,74
2	64,17	1,89	73,30	2,14	85,70	2,02
3	64,89	2,21	75,75	2,52	81,70	2,41
4	63,52	1,77	75,31	2,63	76,74	2,59
5	65,91	2,30	72,36	3,23	70,76	2,75
6	66,67	2,09	69,17	3,82	65,00	2,92
7	64,20	2,21	62,60	4,18	58,54	3,35
8	61,49	2,33	55,77	3,81	51,97	3,43
9	59,03	2,82	54,65	4,84	48,19	3,68
10	56,57	4,77	51,74	5,22	44,61	2,78
11	55,60	3,89	46,58	6,75	40,24	2,27
12	50,72	4,21	41,73	7,30	34,41	2,07
13	47,33	2,06	34,90	3,36	28,51	0,94
14	40,65	3,50	31,76	5,90	23,68	2,10
15	35,36	3,91	27,52	7,39	21,72	1,56
16	32,82	3,73	23,38	6,68	21,74	4,22
17	32,02	4,14	23,86	4,45	16,05	1,01
18	32,74	3,50	20,39	3,22	18,92	3,61
19	31,35	2,81	18,16	1,92	19,26	3,52
20	27,60	3,74	16,65	1,60	15,43	4,73
21			15,03	3,62		
22			16,35	1,96		

Tabla 4.2. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad mezzoforte, boquilla de PVC

PVC	A3 (f)	DE	A4 (f)	DE	A5 (f)	DE
1	72,17	0,32	83,67	0,07	89,60	0,93
2	77,31	0,78	85,69	0,31	92,58	1,50
3	78,91	1,35	88,63	0,49	91,56	3,49
4	77,69	0,14	87,25	1,27	92,00	3,66
5	81,06	0,23	87,58	2,33	89,02	3,89
6	79,91	1,05	86,90	1,49	85,96	3,93
7	77,60	2,02	88,57	1,65	83,54	3,59
8	77,73	0,67	89,31	1,86	81,22	3,65
9	75,68	1,29	87,98	1,93	79,75	4,44
10	79,10	1,15	85,33	2,30	79,21	3,27
11	78,26	1,74	81,95	3,05	80,09	3,68

12	79,22	1,75	81,80	2,47	77,69	4,59
13	81,22	0,65	79,50	1,09	77,90	2,55
14	81,38	0,85	79,21	2,30	76,48	4,51
15	80,61	2,13	79,21	2,39	71,43	4,80
16	80,53	0,42	76,82	2,36	68,28	5,10
17	80,26	0,27	77,19	1,63	66,23	5,57
18	79,30	1,05	75,57	1,06	65,92	5,08
19	78,07	1,11	75,03	1,53	63,73	3,00
20	75,62	1,43	74,72	1,80	61,51	3,41
21			74,95	1,88		
22			75,09	1,85		

Tabla 4.3. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad fuerte, boquilla de PVC

NYLON	A3 (p)	DE	A4 (p)	DE	A5 (p)	DE
1	52,14	0,83	67,37	0,49	75,79	0,82
2	53,92	2,14	63,26	1,09	67,88	1,19
3	53,66	2,53	59,24	3,13	55,79	0,48
4	51,34	3,09	54,41	5,14	38,73	7,00
5	51,92	3,01	52,78	4,19	33,46	2,25
6	49,88	3,19	44,30	5,97	20,80	3,13
7	46,12	2,60	32,89	3,55	15,44	0,23
8	40,68	0,94	27,90	3,71	12,75	0,52
9	35,59	0,61	25,41	6,49	9,62	2,27
10	29,45	2,45	19,77	1,93	10,33	3,31
11	25,10	2,07	16,66	3,99	9,76	2,12
12	24,36	2,43	14,12	1,85	5,48	1,89
13	20,68	0,89	8,69	0,65	4,87	1,21
14	18,74	1,15	6,06	0,49	4,27	1,62
15	18,57	1,13	4,64	1,19	0,94	1,28
16	14,71	1,84	3,57	1,55	-0,68	0,82
17	11,51	2,54	3,19	2,46	0,29	1,76
18	12,20	1,69	1,36	1,87	0,57	1,89
19	10,59	1,23	0,83	2,28	-1,55	0,96
20	10,04	2,41	0,83	2,28	-2,60	0,04
21			0,58	0,46		
22			0,43	0,23		

Tabla 4.4. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad piano, boquilla de Nylon

NYLON	A3 (mf)	DE	A4 (mf)	DE	A5 (mf)	DE
1	59,84	0,26	75,01	0,27	83,48	1,15
2	63,49	1,85	74,22	0,62	83,84	2,35
3	64,61	1,55	76,31	1,42	79,79	1,35
4	62,74	2,22	74,54	2,06	75,42	2,94
5	63,93	3,49	72,56	2,18	69,69	2,76
6	64,49	3,73	71,15	2,49	63,54	2,51
7	62,34	3,29	67,94	2,92	56,52	3,13
8	60,74	3,79	61,12	2,98	50,61	2,79
9	60,42	3,29	57,43	2,70	46,19	3,31
10	58,16	3,03	55,65	3,42	42,32	2,95

11	57,69	2,77	53,06	3,37	39,69	3,89
12	54,69	2,50	50,85	3,99	34,64	3,01
13	50,32	1,23	44,81	2,40	29,81	1,12
14	44,66	0,10	39,94	5,19	24,71	3,16
15	37,49	1,65	35,82	6,52	20,74	0,53
16	36,41	1,12	33,50	6,50	18,72	2,73
17	34,49	1,65	33,09	7,32	17,23	1,63
18	34,83	2,08	28,87	8,15	15,49	0,58
19	34,04	2,71	25,16	7,64	15,33	0,85
20	31,94	3,20	22,09	7,30	9,26	2,26
21			21,25	8,00		
22			19,87	6,84		

Tabla 4.5. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad mezzoforte, boquilla de Nylon

NYLON	A3 (f)	DE	A4 (f)	DE	A5 (f)	DE
1	71,27	0,26	82,71	0,27	89,06	71,27
2	76,33	0,20	84,10	0,86	90,83	76,33
3	78,34	0,86	86,68	0,52	90,15	78,34
4	77,23	0,38	86,04	0,50	91,44	77,23
5	79,36	0,36	86,18	0,48	88,57	79,36
6	78,34	1,22	86,52	1,25	85,42	78,34
7	77,99	1,55	88,25	1,10	81,70	77,99
8	76,76	2,33	89,11	0,76	80,36	76,76
9	74,95	1,62	87,71	0,99	79,56	74,95
10	77,31	0,83	84,79	1,14	78,30	77,31
11	77,18	1,96	81,06	1,06	78,59	77,18
12	77,98	1,32	80,67	1,60	77,27	77,98
13	78,60	0,66	78,49	0,82	78,34	78,60
14	79,89	1,23	77,59	1,23	75,74	79,89
15	80,25	0,58	77,81	1,27	70,31	80,25
16	79,63	1,42	75,98	1,17	68,45	79,63
17	79,45	1,36	75,66	1,00	67,12	79,45
18	78,27	2,39	73,06	0,98	65,01	78,27
19	76,30	2,36	72,15	0,77	61,64	76,30
20	73,75	1,56	72,33	0,87	59,81	73,75
21			72,80	1,22		
22			73,44	1,36		

Tabla 4.6. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad fuerte, boquilla de Nylon

GRAFITO	A3 (p)	DE	A4 (p)	DE	A5 (p)	DE
1	55,00	0,66	66,41	0,85	77,95	1,17
2	57,85	1,62	63,00	2,70	73,64	3,68
3	58,89	2,20	62,51	3,91	64,61	3,92
4	57,00	2,80	58,37	5,03	54,02	3,50
5	58,64	2,83	51,73	7,07	41,92	2,73
6	57,78	2,67	45,90	7,69	34,48	4,15
7	55,66	3,83	37,47	6,92	20,63	2,85
8	52,00	4,69	33,01	8,43	20,31	2,72
9	46,55	5,73	31,05	8,29	19,77	2,04

10	42,71	6,51	24,70	5,53	16,99	1,98
11	38,01	8,05	20,25	5,31	15,43	1,40
12	31,62	8,25	18,28	6,57	11,43	2,49
13	31,29	2,13	13,57	2,95	10,47	1,38
14	28,57	2,89	10,49	6,25	10,08	3,74
15	28,26	0,35	10,60	5,44	7,26	2,52
16	24,60	0,88	7,95	4,82	6,29	3,04
17	20,56	2,55	8,65	4,02	3,17	2,96
18	19,73	1,94	8,00	4,43	5,28	3,66
19	20,09	3,19	5,71	3,65	5,28	3,66
20	19,06	4,33	3,78	2,90	-2,02	0,90
21			3,39	3,23		
22			2,21	2,44		

Tabla 4.7. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad piano, boquilla de Grafito

GRAFITO	A3 (mf)	DE	A4 (mf)	DE	A5 (mf)	DE
1	59,73	0,30	74,04	0,11	84,02	0,81
2	64,09	0,91	73,46	1,15	86,31	2,04
3	64,33	1,14	75,58	2,16	83,28	2,83
4	62,85	0,47	75,06	2,40	78,79	2,57
5	64,48	1,11	73,40	3,27	73,86	1,11
6	64,40	1,80	71,09	4,28	68,27	1,64
7	63,00	1,41	64,65	5,64	62,79	2,05
8	60,72	1,57	56,21	6,11	57,10	1,79
9	59,03	1,84	56,62	4,87	53,95	2,16
10	55,94	2,53	54,87	5,43	52,20	1,82
11	53,55	2,04	50,10	6,93	48,90	2,74
12	49,08	2,76	43,63	10,23	44,49	3,41
13	45,18	1,89	34,81	5,82	39,65	1,40
14	41,96	3,45	31,58	8,85	35,79	2,70
15	35,40	3,94	32,20	7,05	29,70	2,31
16	34,21	3,49	27,86	8,98	26,15	1,04
17	31,09	4,39	25,26	9,79	22,80	2,48
18	30,33	3,59	23,06	9,35	23,02	2,50
19	28,92	3,26	22,23	9,45	23,02	2,50
20	27,46	2,88	21,50	8,12	17,32	3,10
21			20,54	7,69		
22			19,16	5,96		

Tabla 4.8. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad mezzoforte, boquilla de Grafito

GRAFITO	A3 (f)	DE	A4 (f)	DE	A5 (f)	DE
1	71,62	0,75	82,60	0,20	90,30	0,56
2	77,09	1,49	83,59	1,22	93,28	1,47
3	79,14	2,07	86,02	1,35	93,76	0,68
4	79,01	1,04	85,62	1,76	92,60	1,54
5	81,86	0,53	84,85	2,24	88,85	2,50
6	81,45	1,33	85,46	2,66	86,39	1,10
7	79,40	1,74	86,41	2,77	82,67	2,54
8	79,38	1,60	87,17	2,40	80,45	1,64

9	77,84	1,31	86,60	2,55	79,46	2,17
10	79,43	0,95	83,57	2,21	78,88	1,65
11	79,71	0,74	80,36	1,32	78,47	2,42
12	78,77	0,94	79,92	1,29	76,46	2,67
13	80,56	0,71	77,12	0,60	74,54	1,50
14	80,88	1,92	77,11	1,71	73,61	3,75
15	80,89	1,92	77,14	1,21	68,43	3,47
16	79,88	3,65	75,84	1,04	65,03	4,03
17	78,82	3,17	75,33	1,46	63,21	3,56
18	78,67	4,61	74,31	2,30	63,11	4,16
19	76,93	4,51	73,26	1,10	63,11	4,16
20	75,03	3,83	73,61	1,93	60,02	3,31
21			73,13	2,42		
22			73,59	1,76		

Tabla 4.9. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad fuerte, boquilla de Grafito

GRANADILLO	A3 (p)	DE	A4 (p)	DE	A5 (p)	DE
1	56,21	0,23	68,79	0,29	78,83	0,49
2	59,38	0,80	65,47	1,61	75,03	2,05
3	61,03	0,74	61,83	1,50	64,26	1,84
4	59,35	1,12	56,92	4,51	55,43	1,92
5	59,84	2,00	54,24	4,23	44,31	2,60
6	58,73	1,97	43,83	5,49	39,89	1,90
7	57,55	1,94	33,37	0,98	25,65	4,02
8	54,02	2,23	29,41	4,25	23,79	5,30
9	50,39	3,08	23,72	5,67	18,59	3,62
10	46,63	3,38	19,06	2,07	19,31	2,13
11	45,72	3,53	15,25	2,59	16,54	2,32
12	40,33	4,79	15,61	2,42	13,85	2,91
13	34,82	2,13	11,62	1,76	10,72	1,57
14	29,46	3,29	9,51	4,04	9,70	2,52
15	25,45	1,98	6,67	1,79	8,19	0,87
16	22,29	1,86	5,99	0,62	7,82	1,00
17	20,17	1,65	6,06	2,46	4,31	2,33
18	21,94	2,97	5,81	2,60	7,82	2,96
19	21,07	2,84	3,51	1,42	7,82	2,96
20	18,31	2,28	1,57	1,97	-0,85	1,45
21			0,28	1,90		
22			0,78	1,53		

Tabla 4.10. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad piano, boquilla de Granadillo

GRANADILLO	A3 (mf)	DE	A4 (mf)	DE	A5 (mf)	DE
1	58,96	0,48	73,52	0,56	83,53	0,52
2	62,59	1,48	72,86	2,13	84,98	3,51
3	63,51	0,33	74,50	2,41	79,85	4,22
4	62,06	1,48	72,67	2,50	74,45	4,12
5	63,91	2,10	70,14	2,00	68,48	3,98
6	63,68	1,36	67,35	1,94	62,07	4,60

7	61,49	1,52	60,69	2,92	56,21	4,68
8	59,76	1,28	52,63	3,50	50,51	5,23
9	57,31	1,89	51,62	3,00	47,12	5,42
10	55,79	2,53	49,32	3,16	43,76	6,80
11	53,15	4,20	45,21	3,55	39,06	7,14
12	48,77	4,58	41,69	3,37	32,59	7,58
13	42,94	2,64	34,32	1,34	27,47	3,96
14	38,38	3,77	29,87	3,02	24,79	6,55
15	35,02	4,04	25,87	3,20	19,02	7,13
16	31,68	5,44	22,45	4,09	18,79	4,05
17	32,84	3,60	21,70	3,79	18,79	4,05
18	33,05	3,54	18,90	2,24	18,95	3,47
19	31,53	3,79	18,76	2,18	18,95	3,47
20	28,94	4,53	16,99	2,43	11,16	2,63
21			15,89	1,94		
22			14,25	4,58		

Tabla 4.11. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad mezzoforte, boquilla de Granadillo

GRANADILLO	A3 (f)	DE	A4 (f)	DE	A5 (f)	DE
1	71,75	0,82	83,44	0,43	90,04	71,75
2	76,59	2,28	85,16	1,52	93,02	76,59
3	78,25	1,82	87,89	1,06	92,98	78,25
4	77,20	0,40	87,34	1,60	91,44	77,20
5	80,55	0,74	86,83	1,99	88,78	80,55
6	80,97	0,83	87,48	1,88	85,68	80,97
7	79,77	0,71	88,33	1,52	82,45	79,77
8	79,37	0,76	87,73	1,59	79,97	79,37
9	78,12	2,40	86,31	2,54	79,15	78,12
10	80,04	2,18	83,00	2,27	78,48	80,04
11	79,85	2,08	80,15	1,49	78,08	79,85
12	78,90	1,43	79,40	1,06	75,37	78,90
13	79,75	0,93	76,52	0,54	74,97	79,75
14	80,11	1,88	76,69	1,71	74,28	80,11
15	80,18	1,57	76,40	1,43	69,39	80,18
16	78,80	1,78	74,55	1,79	65,93	78,80
17	78,83	1,77	74,85	2,08	64,02	78,83
18	77,28	2,95	72,57	1,74	63,86	77,28
19	75,52	2,80	72,59	1,76	63,13	75,52
20	73,76		72,39	2,00	59,62	73,76
21			72,16	1,51		
22			72,26	1,60		

Tabla 4.12. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad fuerte, boquilla de Granadillo

PALO VIOLETA	A3 (p)	DE	A4 (p)	DE	A5 (p)	DE
1	54,12	0,73	68,04	1,09	78,16	0,45
2	55,73	2,46	67,33	2,24	73,93	3,31
3	55,13	2,79	67,14	3,29	63,24	2,45
4	52,72	2,08	61,38	3,69	52,75	3,14
5	53,22	3,44	57,13	3,35	39,41	1,14

6	50,98	3,02	49,85	3,72	34,15	4,36
7	46,66	3,56	39,87	2,99	23,98	5,46
8	41,16	3,72	33,99	2,36	16,97	1,37
9	38,17	3,24	32,93	2,42	17,61	3,44
10	32,39	2,89	27,84	4,04	15,97	1,59
11	26,79	2,03	24,36	3,48	14,51	1,67
12	25,19	2,62	21,41	1,17	9,97	1,47
13	23,50	1,76	17,87	0,51	7,66	0,55
14	22,98	3,89	13,01	1,97	8,67	3,15
15	22,57	2,97	11,01	3,93	7,24	4,17
16	20,71	4,15	8,15	2,80	6,10	2,42
17	17,17	3,10	8,33	1,24	5,39	2,88
18	16,18	2,91	6,72	0,38	5,97	1,63
19	15,66	0,15	4,79	1,38	5,70	2,04
20	14,76	3,07	4,68	1,88	-1,62	0,63
21			4,55	0,92		
22			4,79	1,23		

Tabla 4.13. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad piano, boquilla de Palo violeta

PALO VIOLETA	A3 (mf)	DE	A4 (mf)	DE	A5 (mf)	DE
1	58,55	0,29	73,83	0,49	83,63	0,37
2	62,42	0,86	72,25	2,48	85,22	1,19
3	63,81	0,34	74,15	2,19	78,78	1,15
4	62,29	1,07	71,07	2,26	73,78	1,36
5	64,07	1,21	68,12	2,87	67,44	2,58
6	63,23	1,10	64,63	4,47	60,47	4,02
7	59,83	0,85	58,50	4,93	54,15	3,44
8	55,25	1,00	49,68	5,34	47,45	3,88
9	52,80	2,18	48,04	4,46	42,86	4,47
10	49,23	2,77	45,34	4,55	39,67	5,05
11	44,74	3,07	39,84	5,84	35,44	5,50
12	40,32	1,46	35,92	6,54	29,05	5,04
13	37,53	0,41	30,17	3,23	26,50	2,08
14	33,31	2,54	25,63	6,15	25,54	3,96
15	31,70	3,50	22,29	5,30	21,11	4,94
16	27,32	3,17	21,53	4,63	18,48	3,75
17	24,07	1,91	20,74	3,74	16,58	5,45
18	23,79	2,47	19,27	4,08	15,81	1,43
19	23,64	2,62	19,53	3,39	15,79	1,40
20	23,07	3,83	18,35	2,20	9,41	2,36
21			17,24	3,20		
22			15,64	4,93		

Tabla 4.14. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad mezzoforte, boquilla de Palo violeta

PALO VIOLETA	A3 (f)	DE	A4 (f)	DE	A5 (f)	DE
1	70,41	1,04	82,27	0,40	90,32	1,21
2	75,72	1,51	83,31	0,10	93,13	2,45
3	77,49	1,22	85,11	1,08	91,87	1,90
4	77,52	2,08	84,18	1,17	91,18	2,28

5	80,82	3,49	84,44	1,56	88,66	1,90
6	79,53	2,72	84,17	1,32	84,60	2,16
7	78,90	1,70	85,38	1,31	82,08	2,54
8	78,22	2,65	85,48	1,39	79,07	2,86
9	77,38	2,20	83,92	0,98	77,54	2,58
10	78,43	2,75	81,88	1,01	75,58	3,53
11	78,39	2,69	78,59	1,04	76,35	2,74
12	77,57	3,14	78,16	1,51	74,77	2,44
13	78,96	1,95	75,95	0,58	74,52	1,27
14	79,31	4,42	75,43	1,36	73,38	3,14
15	79,56	3,95	75,36	1,74	68,99	3,04
16	78,21	4,50	73,94	0,88	65,47	2,96
17	77,11	5,85	74,19	1,43	63,16	2,90
18	76,22	5,53	72,11	0,85	63,10	3,59
19	74,52	5,16	71,50	1,16	60,41	1,37
20	72,75	4,97	71,90	0,70	59,35	3,07
21			71,78	0,88		
22			71,83	0,85		

Tabla 4.15. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad fuerte, boquilla de Palo violeta

OLIVO	A3 (p)	DE	A4 (p)	DE	A5 (p)	DE
1	53,64	1,02	67,09	0,57	76,16	1,43
2	55,70	2,18	64,85	1,67	72,09	5,13
3	57,43	2,51	63,26	1,66	61,35	4,13
4	55,52	3,09	60,76	3,31	49,81	5,43
5	54,67	2,96	55,12	3,87	36,03	5,73
6	54,40	3,51	47,84	3,67	29,29	8,64
7	51,94	3,38	38,03	4,65	21,23	3,56
8	48,73	3,21	31,88	2,62	18,19	2,13
9	44,74	3,19	33,00	4,24	14,13	3,35
10	40,41	2,94	24,57	7,58	13,81	3,90
11	36,94	4,41	18,99	2,98	10,18	2,30
12	32,21	5,00	18,16	2,62	7,48	1,33
13	28,21	2,90	13,22	1,90	5,59	0,94
14	24,92	5,76	11,81	3,53	6,52	2,40
15	23,36	5,89	8,72	2,41	1,93	1,68
16	21,31	6,62	5,89	3,33	1,16	0,82
17	17,90	5,21	7,06	2,60	0,81	0,94
18	18,92	3,63	7,06	2,60	5,40	0,67
19	18,57	3,62	4,23	2,54	4,12	2,46
20	16,22	5,33	3,24	2,16	-2,29	0,54
21			2,33	2,74		
22			1,37	2,01		

Tabla 4.16. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad piano, boquilla de Olivo

OLIVO	A3 (mf)	DE	A4 (mf)	DE	A5 (mf)	DE
1	62,25	0,73	76,55	0,53	81,60	0,30
2	66,82	2,39	75,86	2,66	83,19	2,02
3	67,30	3,29	77,73	2,04	76,63	1,18
4	66,25	2,95	78,09	2,21	69,93	1,77

5	69,39	3,14	76,58	3,37	62,24	2,08
6	67,57	3,65	75,89	2,60	55,99	1,69
7	67,66	2,98	72,66	2,59	48,44	1,45
8	64,85	2,08	67,09	3,31	40,48	2,09
9	63,72	2,68	65,08	2,95	34,65	2,93
10	62,93	3,52	63,05	2,60	30,05	3,76
11	61,79	3,70	59,73	3,14	26,91	4,28
12	60,29	5,15	59,02	3,28	18,29	3,09
13	58,28	3,08	54,19	1,75	18,19	1,36
14	54,21	7,48	51,79	3,90	16,02	0,83
15	52,03	6,87	48,48	3,51	12,57	1,19
16	47,40	4,75	45,51	4,19	12,65	0,92
17	45,46	4,15	45,96	4,17	12,57	0,81
18	45,82	3,99	43,67	5,45	9,92	2,13
19	44,81	4,68	42,60	4,26	9,44	2,01
20	44,12	5,45	39,79	4,44	3,42	0,26
21			38,49	5,73		
22			35,92	4,57		

Tabla 4.17. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad mezzoforte, boquilla de olivo

OLIVO	A3 (f)	DE	A4 (f)	DE	A5 (f)	DE
1	73,36	0,39	82,42	1,04	92,91	0,75
2	78,59	0,83	82,70	2,09	96,34	2,51
3	79,39	0,46	85,42	1,25	94,59	2,85
4	79,27	0,77	86,39	2,67	92,76	3,52
5	83,24	0,48	86,28	2,62	90,13	3,31
6	81,95	1,18	85,67	2,39	87,52	3,15
7	80,02	1,61	84,89	1,69	83,57	3,22
8	79,95	1,16	84,62	2,34	80,24	3,57
9	77,82	0,99	83,11	3,65	79,32	3,58
10	78,91	1,49	80,03	3,08	79,58	3,59
11	79,33	1,17	76,19	2,44	77,41	4,06
12	77,86	1,09	76,45	3,03	74,28	4,39
13	78,69	0,22	73,34	1,54	72,55	2,27
14	78,69	1,07	73,66	3,11	71,04	5,14
15	79,83	1,10	72,67	2,68	66,97	5,26
16	77,88	1,43	70,91	3,44	62,51	5,23
17	77,34	1,48	70,57	3,10	62,51	5,23
18	75,56	1,79	70,43	3,17	59,67	5,13
19	75,46	1,72	68,46	3,26	59,67	5,13
20	73,05	2,45	68,70	3,69	55,91	5,19
21			68,70	3,69		
22			66,93	2,97		

Tabla 4.18. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad fuerte, boquilla de Olivo

LATÓN	A3 (p)	DE	A4 (p)	DE	A5 (p)	DE
1	56,25	0,56	69,34	0,32	80,68	0,18

2	59,48	1,35	66,70	0,85	78,80	0,45
3	60,49	1,40	66,22	1,17	70,72	0,58
4	57,89	1,20	61,58	2,55	59,78	0,78
5	58,97	1,18	57,91	3,59	50,53	3,43
6	56,80	1,87	49,65	4,15	42,08	0,27
7	55,46	2,90	37,96	1,45	31,87	2,39
8	51,36	3,92	34,78	5,15	24,87	3,05
9	47,87	2,66	35,82	4,02	23,88	2,61
10	43,64	3,70	25,01	8,40	20,42	2,21
11	43,01	1,90	22,41	4,94	15,73	1,37
12	37,56	2,69	19,58	2,69	11,54	1,64
13	33,66	1,97	14,19	0,94	9,46	1,45
14	29,16	3,38	12,90	2,44	9,41	1,47
15	27,04	3,73	10,98	3,74	10,25	0,89
16	23,53	2,47	9,51	0,97	10,25	0,89
17	19,44	1,72	9,08	0,63	7,33	0,81
18	19,77	1,51	6,77	0,60	10,21	1,05
19	19,33	2,34	6,28	1,44	10,21	1,05
20	18,32	3,04	5,31	2,37	2,82	1,97
21			4,64	1,36		
22			3,60	1,02		

Tabla 4.19. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad piano, boquilla de Latón

LATÓN	A3 (mf)	DE	A4 (mf)	DE	A5 (mf)	DE
1	62,19	0,58	75,75	0,41	82,74	0,83
2	67,44	1,13	75,77	1,00	85,45	3,74
3	68,12	1,53	76,17	0,96	80,37	4,70
4	66,31	1,34	76,10	1,28	75,46	5,16
5	69,51	1,25	75,31	2,06	68,90	5,96
6	69,95	0,58	74,60	2,19	62,94	6,51
7	69,96	0,68	70,72	3,61	56,90	7,52
8	68,54	1,28	62,83	3,35	51,30	7,52
9	67,49	0,83	62,05	2,30	45,79	8,77
10	67,10	1,43	60,67	3,13	43,43	8,69
11	66,75	2,06	57,34	4,10	38,55	8,42
12	65,63	2,29	54,12	4,33	32,32	8,28
13	65,82	1,19	48,05	2,97	29,16	4,22
14	62,41	1,85	45,01	5,98	25,29	7,83
15	57,37	3,26	42,83	4,78	20,83	3,54
16	51,62	2,06	40,33	4,61	19,08	1,38
17	50,34	2,25	39,73	5,34	19,58	2,18
18	52,12	2,84	38,90	5,23	18,80	2,97
19	51,68	2,66	35,66	6,91	18,80	2,97
20	50,11	2,47	33,58	6,86	12,49	2,78
21			32,15	5,99		
22			29,70	4,74		

Tabla 4.20. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad mezzoforte, boquilla de Latón

LATÓN	A3 (f)	DE	A4 (f)	DE	A5 (f)	DE
-------	--------	----	--------	----	--------	----

1	70,97	0,35	81,85	0,31	89,43	0,65
2	75,44	1,39	82,91	1,20	92,35	1,07
3	76,75	1,54	84,48	1,70	91,53	1,21
4	77,32	0,72	84,88	1,36	91,64	0,37
5	80,83	0,57	85,26	0,99	89,94	0,49
6	78,60	0,72	85,04	1,23	85,54	0,47
7	78,07	0,93	86,25	2,02	82,86	1,39
8	77,25	1,74	85,76	2,61	81,10	0,79
9	77,38	1,32	83,87	2,49	80,59	1,24
10	79,14	1,39	81,25	2,55	80,11	1,43
11	79,03	0,84	78,28	2,70	80,43	1,55
12	77,54	0,93	78,57	2,08	78,43	1,07
13	79,10	0,28	75,59	1,23	78,10	0,53
14	79,35	1,92	76,13	1,98	77,50	1,41
15	80,18	0,88	75,22	2,48	71,24	0,99
16	78,97	1,03	73,29	2,86	67,68	1,65
17	79,81	1,53	73,49	3,64	66,18	1,58
18	79,83	1,75	72,53	2,76	65,24	0,78
19	77,00	2,05	71,80	3,58	64,02	2,30
20	74,67	2,33	71,91	3,64	60,68	0,66
21			71,68	3,26		
22			71,24	3,55		

Tabla 4.21. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3, LA4 y LA5, intensidad fuerte, boquilla de Latón

4.4.2. Afinación y estabilidad sonora

A continuación se muestran las tablas con el promedio de afinación con sus respectivos cents y la desviación estándar para cada una de las boquillas.

PVC	p (Hz)	cents	mp (Hz)	cents	f (Hz)	cents
LA3	220,69	5	219,33	-5	216,80	-25
DE	0,46		0,18		0,99	
LA4	445,07	20	442,07	8	440,75	3
DE	0,14		0,67		0,34	
LA5	895,38	30	888,82	17	885,73	11
DE	2,87		1,63		2,47	
NYLON	p (Hz)	cents	mp (Hz)	cents	f (Hz)	cents
LA3	218,81	-9	219,88	-1	216,31	-29
DE	0,57		0,87		0,64	
LA4	445,35	21	441,21	5	440,06	0
DE	0,55		0,55		1,03	
LA5	892,55	25	887,83	15	879,40	-1
DE	1,13		1,08		0,34	
GRAFITO	p (Hz)	cents	mp (Hz)	cents	f (Hz)	cents
LA3	220,09	1	220,92	7	218,18	-14
DE	0,47		0,13		0,98	
LA4	446,07	24	444,50	18	443,84	15
DE	0,79		0,63		1,01	
LA5	896,09	31	893,22	26	888,87	17
DE	0,62		2,98		0,31	
GRANADILLO	p (Hz)	cents	mp (Hz)	cents	f (Hz)	cents
LA3	220,28	2	221,04	8	218,27	-14
DE	0,53		0,19		0,51	
LA4	445,59	22	444,12	16	442,73	11

DE	0,27		0,98		1,15	
LA5	897,55	34	895,83	31	889,21	18
DE	0,39		1,35		2,47	
PALO VIOLETA	p (Hz)	cents	mp (Hz)	cents	f (Hz)	cents
LA3	217,99	-16	218,40	-13	218,02	-16
DE	0,94		0,40		0,83	
LA4	441,77	7	444,15	16	440,72	3
DE	0,59		1,18		0,45	
LA5	895,21	30	892,39	24	883,98	8
DE	1,03		1,41		2,38	
OLIVO	p (Hz)	cents	mp (Hz)	cents	f (Hz)	cents
LA3	220,73	6	221,08	8	221,10	9
DE	0,30		0,19		0,36	
LA4	446,25	24	444,18	16	447,29	28
DE	0,36		1,03		0,91	
LA5	895,30	30	894,51	28	893,35	26
DE	1,73		1,43		0,96	
LATÓN	p (Hz)	cents	mp (Hz)	cents	f (Hz)	cents
LA3	221,16	9	220,21	2	218,47	-12
DE	0,75		0,23		0,59	
LA4	448,33	32	443,86	15	444,27	17
DE	0,37		0,27		1,95	
LA5	897,27	34	893,87	27	886,58	13
DE	0,10		0,67		1,85	

Tabla 4.22. Frecuencias para el LA3, LA4 y LA5, intensidades piano, mezzoforte y fuerte, de las boquillas estudiadas

Para el estudio de la estabilidad sonora y la afinación se ha calculado la frecuencia de cada una de las notas y su desviación en cents respecto de la afinación temperada para cada una de las notas LA3 de 220 Hz, LA4 de 440 Hz y LA5 de 880 Hz.

4.4.3. Ataque-velocidad de emisión sonora

Para el estudio del ataque y la estabilidad sonora mediante las estadísticas de amplitud del programa de análisis sonoro Adobe® Audition® CS6 se han realizado cálculos a partir de los primeros 300 ms de cada una de las notas estudiadas y que previamente han sido normalizadas a -3 dB. Una vez seleccionados los 300 primeros milisegundos de cada nota se procedía al análisis estadístico de amplitud y se obtienen los rangos dinámicos y la amplitud RMS máxima para ese espacio temporal.

Una vez obtenida la amplitud RMS máxima se calcularon los milisegundos transcurridos desde el inicio de la nota hasta alcanzar dicho máximo. Este tiempo es el que se muestra como tiempo RMS máximo expresado en

milisegundos. Finalmente se ha definido una tasa/factor que responde a la relación existente entre la amplitud RMS máxima a la que se le pondera con la suma de 60 dB y se divide entre el tiempo transcurrido en alcanzar la citada amplitud máxima. De este modo se puede obtener una estimación de la velocidad de ataque de cada nota para cada boquilla y para cada uno de los registros estudiados, grave (LA3), medio (LA4) y agudo (LA5).

$$\frac{\text{Rango dinámico}}{\text{Amplitud RMS max}} = \frac{(\text{Rango dinámico} + 60)}{(\text{Amplitud RMS max} \times \text{Tiempo A RMSmax})}$$

En la tabla 4.23 se muestran los valores promediados, a partir de las tres notas realizadas en cada caso, obtenidos para cada uno de los siete tipos de boquillas estudiados y analizados. Los resultados mostrados también incluyen las desviaciones estándar de cada una de la medidas realizadas.

		Rango dinámico dB(300ms)	Amplitud RMS max dB(300ms)	Tiempo A RMSmax (ms)	Tasa/factor dB/s
PVC	LA3	53,40	-13,68	0,287	161,57
	DE	3,45	0,34	0,01	6,25
	LA4	59,71	-13,36	0,284	164,41
	DE	16,30	0,14	0,02	9,87
	LA5	64,19	-14,55	0,294	154,78
	DE	1,69	1,38	0,00	4,89
NYLON	LA3	62,71	-13,48	0,287	162,29
	DE	8,33	0,31	0,01	4,83
	LA4	48,24	-13,16	0,278	168,29
	DE	13,44	0,46	0,02	11,06
	LA5	49,76	-14,25	0,293	156,13
	DE	14,40	1,22	0,01	9,87
GRAFITO	LA3	53,16	-14,05	0,247	185,78
	DE	12,67	1,01	0,03	20,35
	LA4	58,08	-12,85	0,293	161,09
	DE	5,57	0,26	0,00	2,71
	LA5	61,37	-12,94	0,258	182,15
	DE	0,53	0,30	0,01	10,67
GRANADILLO	LA3	60,05	-13,22	0,235	199,08
	DE	10,46	0,63	0,05	41,70
	LA4	65,77	-13,40	0,283	164,48
	DE	1,28	0,20	0,01	5,53
	LA5	61,06	-13,37	0,286	162,84
	DE	7,46	0,65	0,01	7,01
PALO VIOLETA	LA3	63,76	-14,09	0,269	170,46
	DE	11,37	2,00	0,02	6,73
	LA4	62,43	-12,90	0,283	166,42
	DE	13,83	0,26	0,01	9,74
	LA5	52,05	-13,72	0,296	156,34
	DE	25,11	0,72	0,00	1,46
OLIVO	LA3	69,80	-11,87	0,261	184,65
	DE	4,01	0,49	0,02	12,63
	LA4	55,89	-14,46	0,285	159,79
	DE	17,48	0,97	0,00	4,77

LATÓN	LA5	52,03	-13,10	0,268	175,23
	DE	27,59	0,95	0,03	25,29
	LA3	58,21	-13,05	0,290	162,08
	DE	13,89	0,22	0,01	2,50
	LA4	61,32	-13,23	0,268	174,30
	DE	18,69	0,58	0,03	24,78
	LA5	56,89	-12,91	0,290	162,37
	DE	3,64	0,21	0,01	3,56

Tabla 4.23. Estudio del ataque para el LA₃, LA₄ y LA₅ de las boquillas estudiadas

4.5. RESULTADOS OBTENIDOS

Tras el análisis de los datos, a continuación se muestran los datos obtenidos para cada una de las tres características estudiadas, el espectro armónico, la afinación y estabilidad sonora, y el ataque o emisión sonora.

4.5.1. Espectro armónico

Los resultados del espectro armónico ofrecen información sobre la calidad tímbrica que la correspondiente boquilla ofrece al ser empleada para interpretar con la trompeta. En primer lugar se muestran los resultados obtenidos para cada una de las boquillas estudiadas en las tres intensidades típicas. En estas gráficas se puede observar como a medida que decrece la intensidad decrece la intensidad relativa de los armónicos y el espectro presenta diferencias. Esto influye en el resultado sonoro final, ya que un determinado tipo de boquilla responde de forma diferente a otro en función no solo del material de su construcción, sino además de la intensidad con la que se interpreta.

En las figuras 4.9 a 4.15 se muestran las respuestas armónicas de las siete boquillas estudiadas para las notas LA3, registro grave, LA4, registro medio y LA5, registro agudo, para las tres intensidades sonoras típicas investigadas. Como se puede observar todas ellas siguen la tendencia lógica recogida en la literatura al respecto con espectros sonoros que disminuyen al disminuir la intensidad. En todas las boquillas se sigue la misma tendencia, con lo que la respuesta global en cuanto al espectro sonoro es similar para los siete materiales estudiados.

En un análisis comparado de los resultados de todas las boquillas para cada una de las intensidades, piano, mezzopiano y forte, y de los registros, LA3, LA4 y LA5, figuras 4.16 a 4.18, se detectan algunas diferencias entre los materiales investigados.

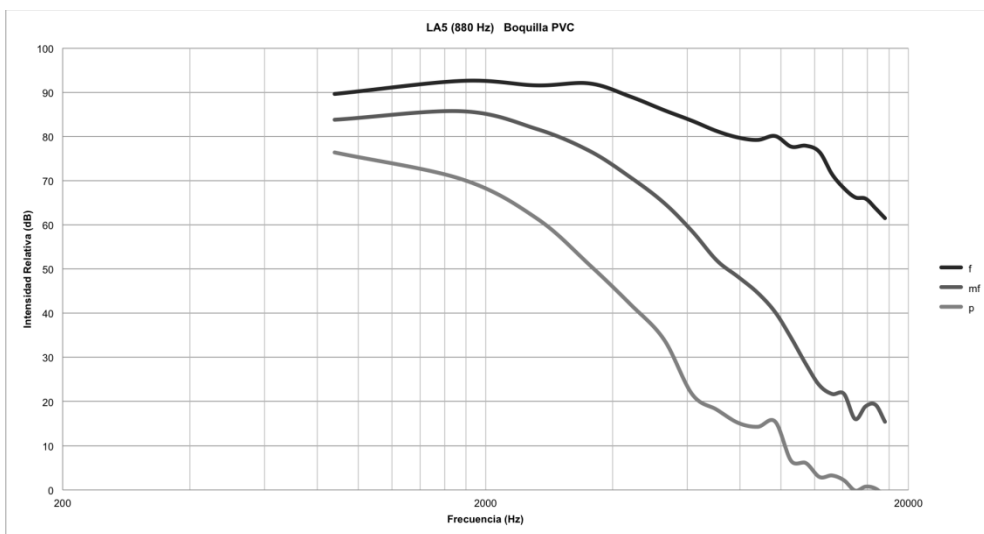
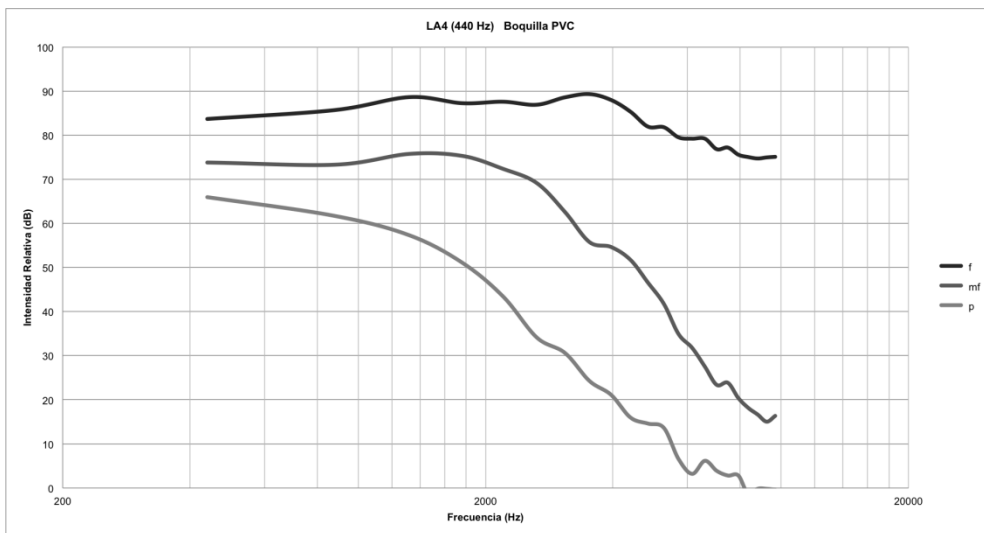
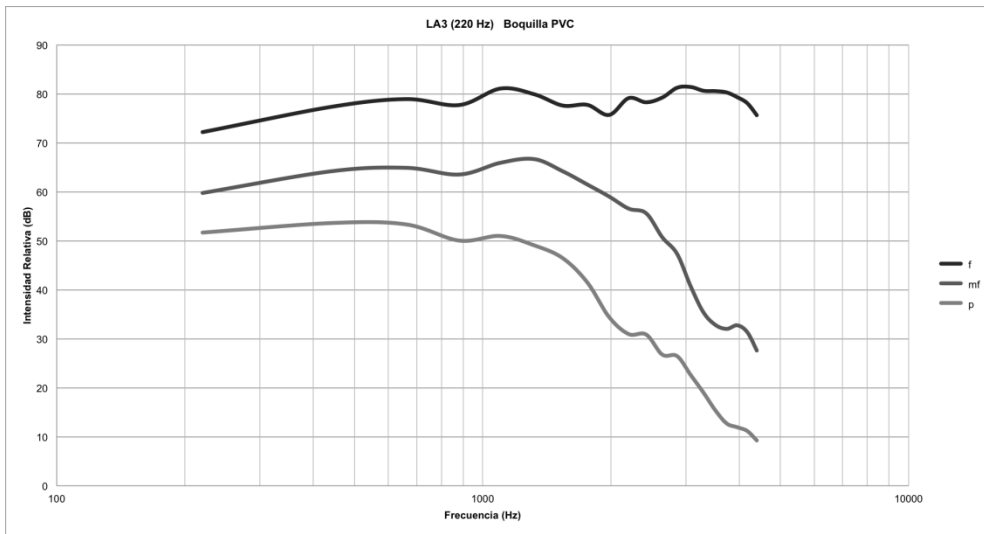


Figura 4.9. Espectro armónico (f, mf, p) de la boquilla de PVC

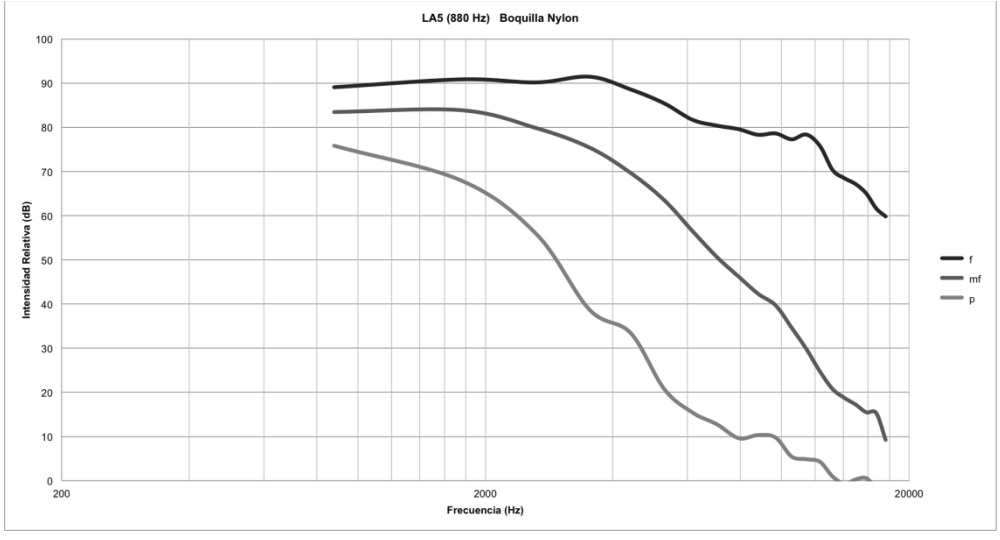
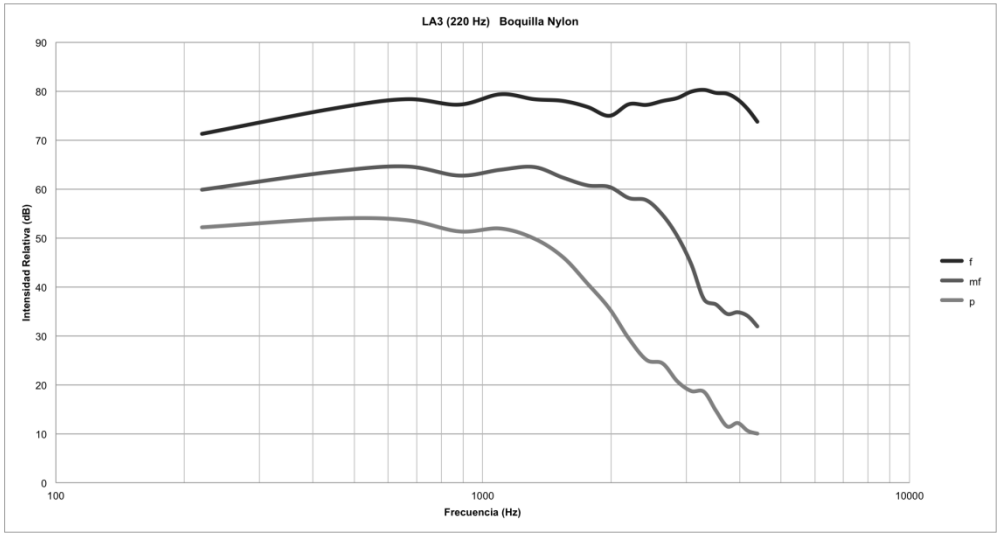
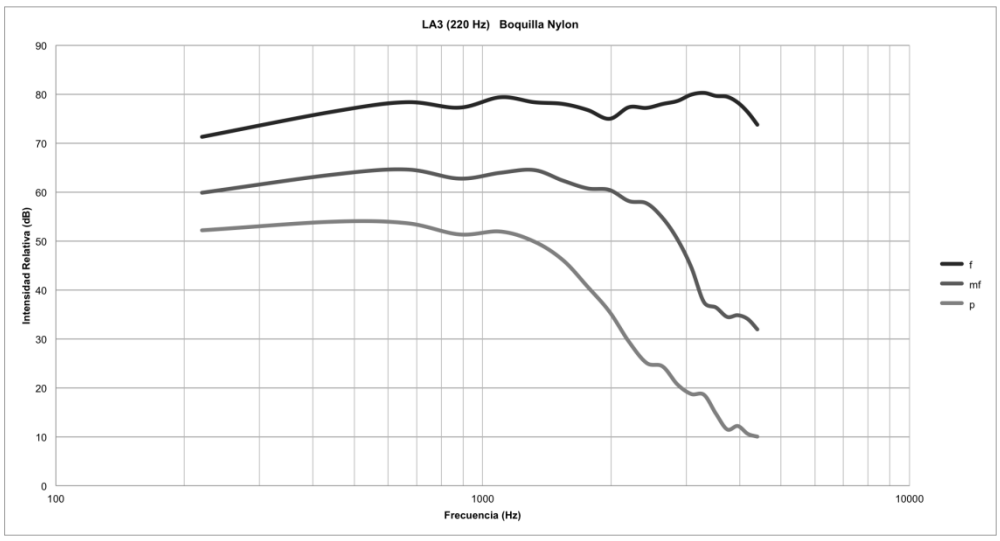


Figura 4.10. Espectro armónico (f, mf, p) de la boquilla de Nylon

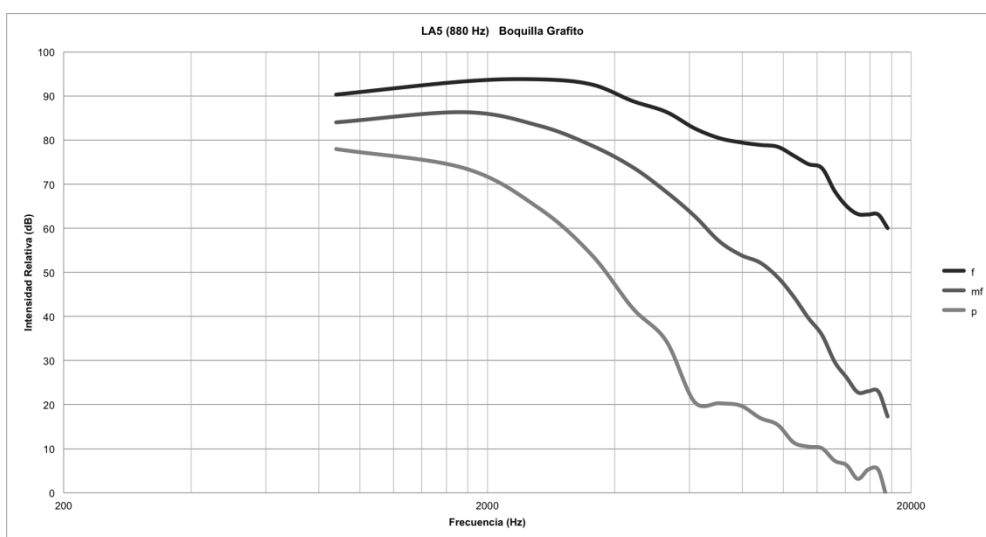
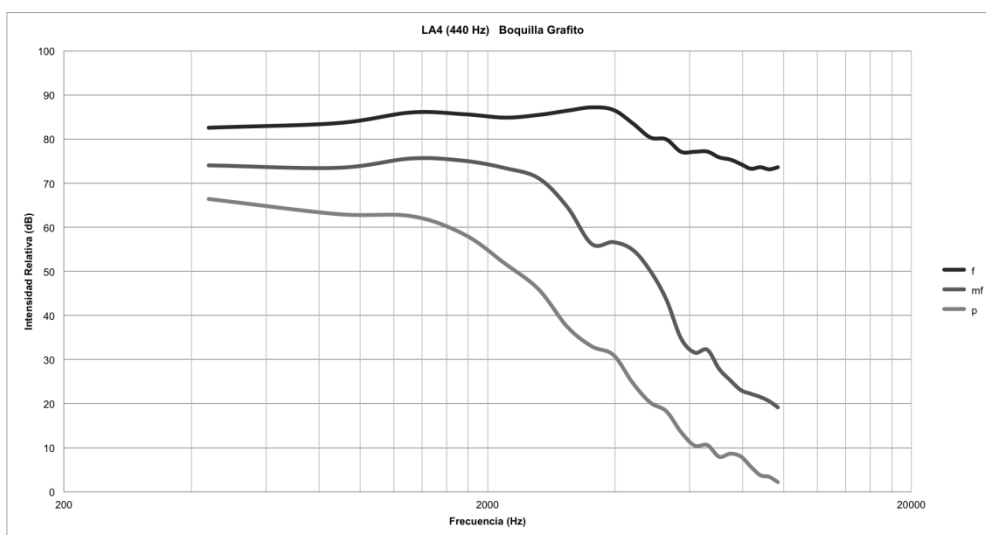
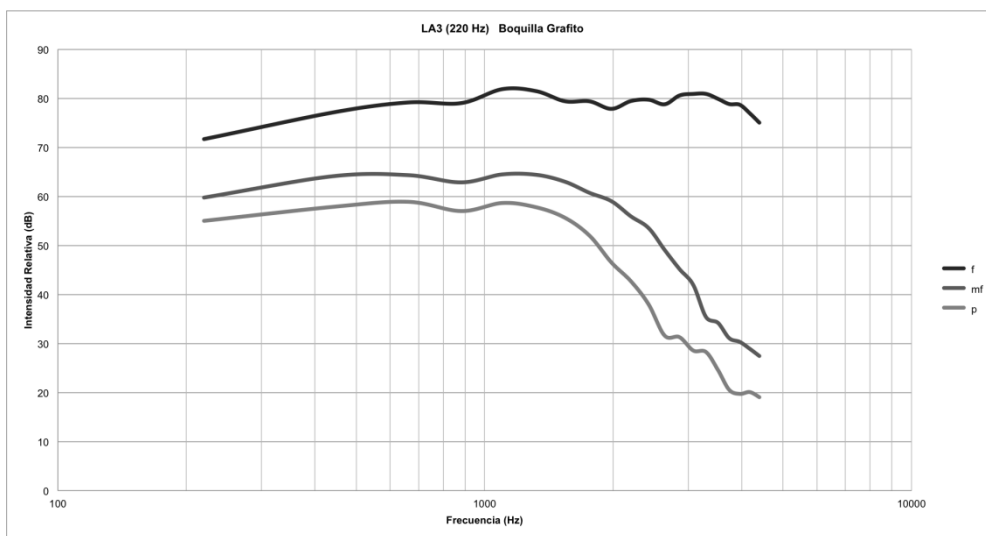


Figura 4.11. Espectro armónico (f, mf, p) de la boquilla de Grafito

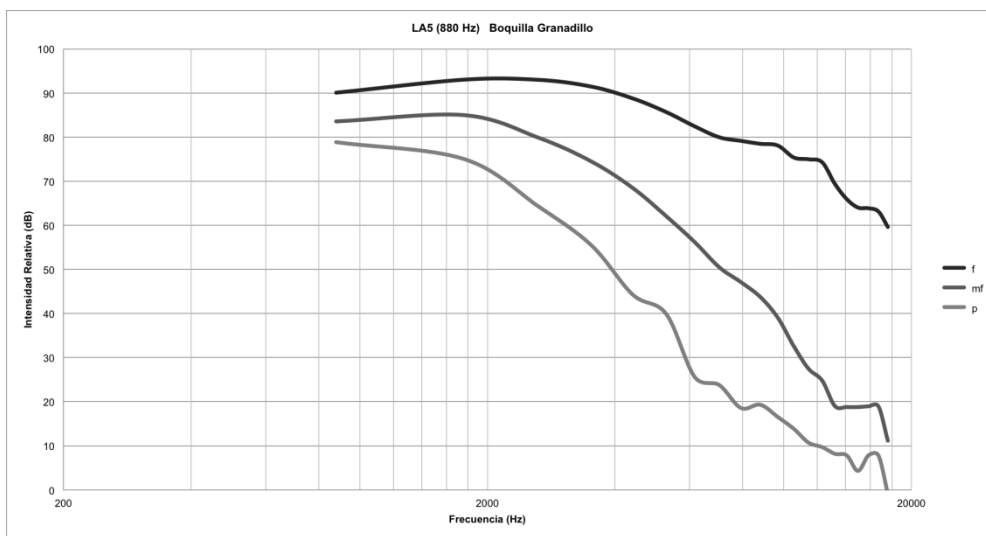
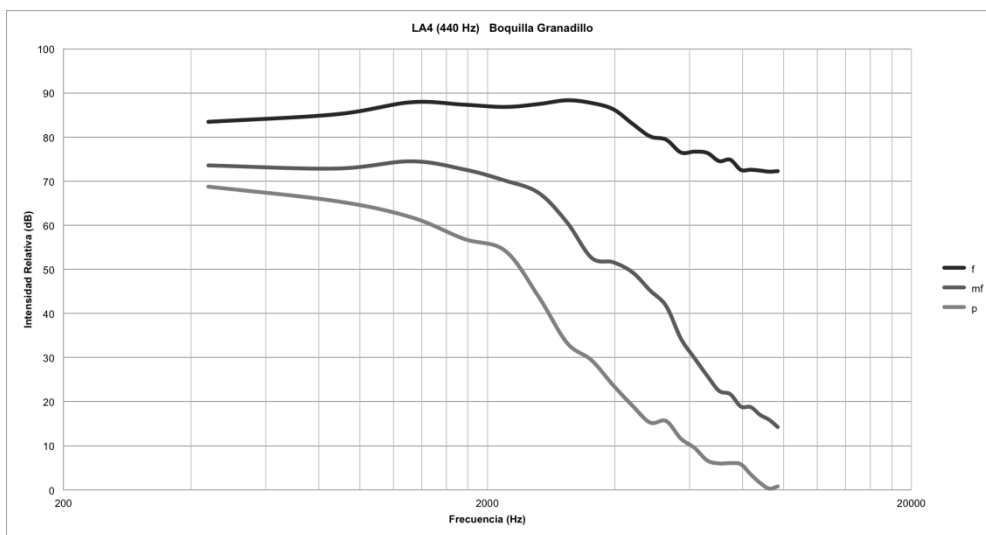
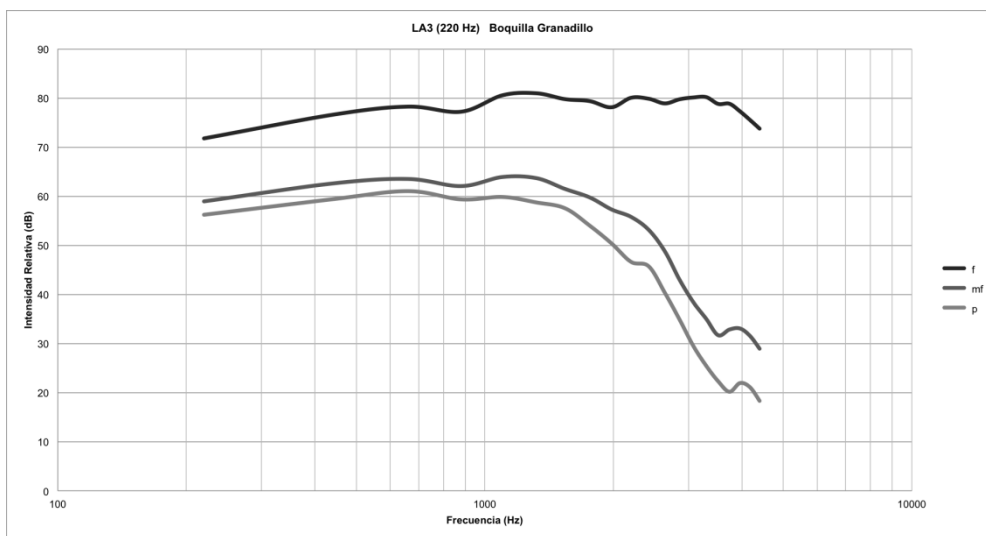


Figura 4.12. Espectro armónico (f, mf, p) de la boquilla de Granadillo

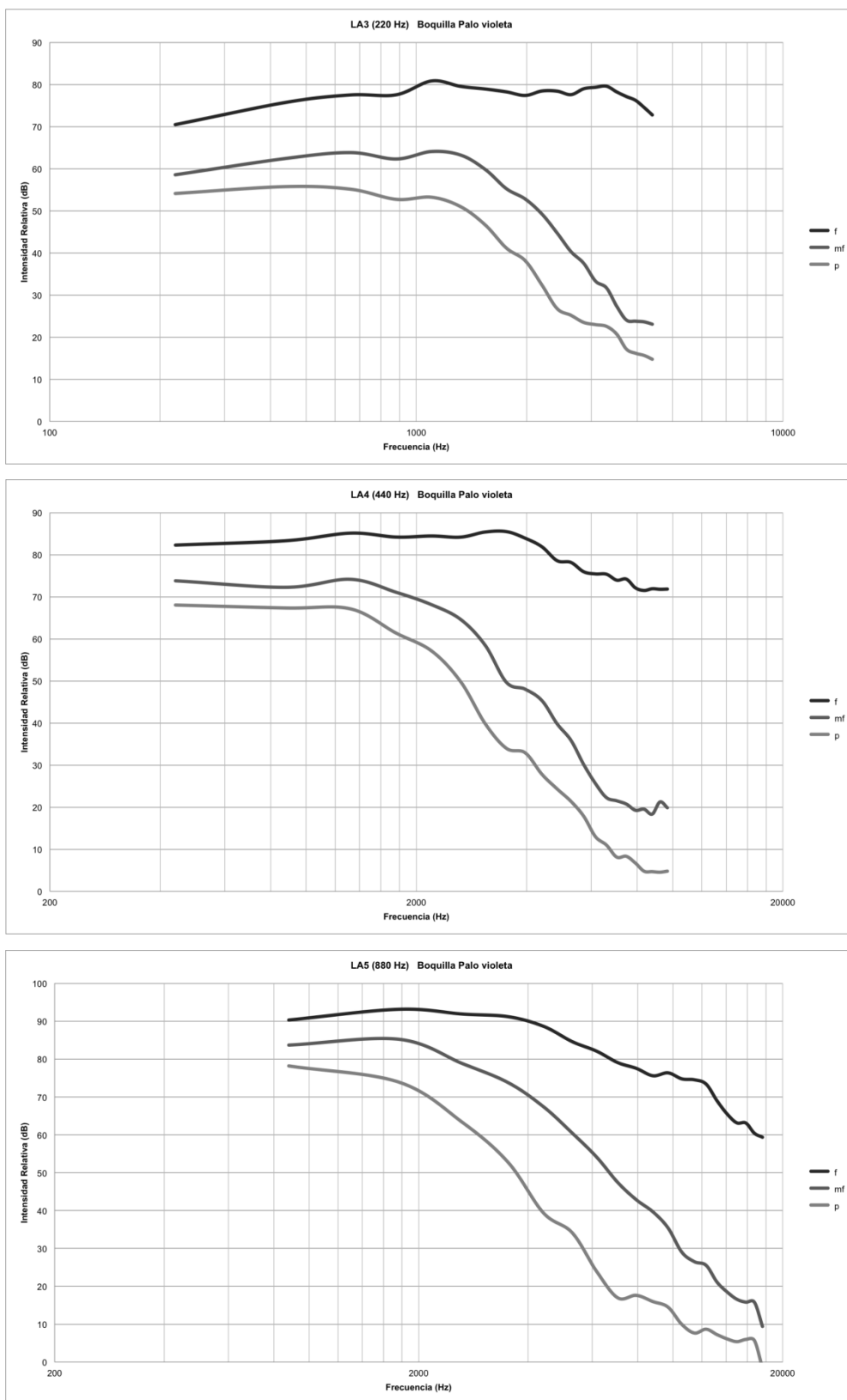


Figura 4.13. Espectro armónico (f, mf, p) de la boquilla de Palo Violeta

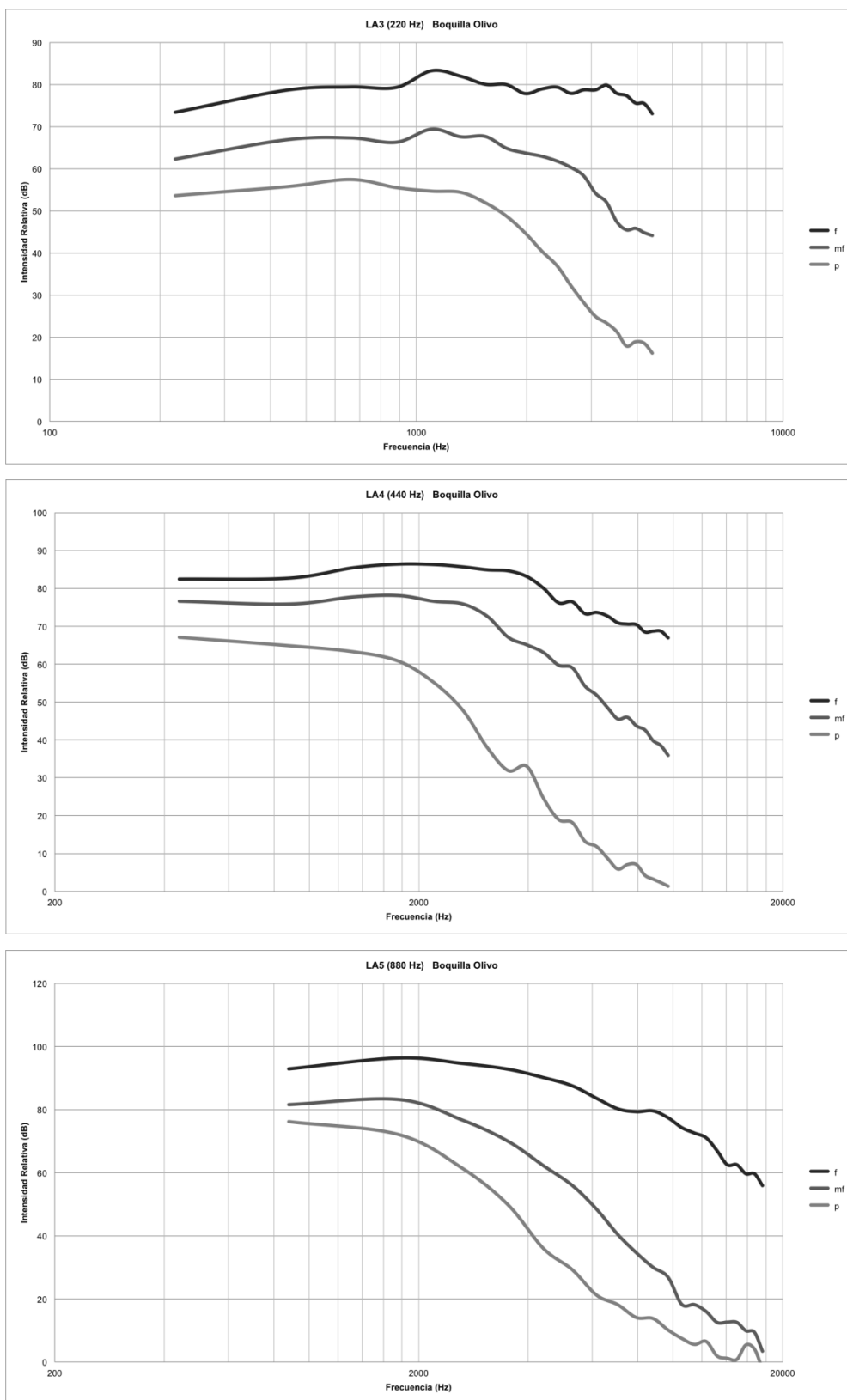


Figura 4.14. Espectro armónico (f, mf, p) de la boquilla de Olivo

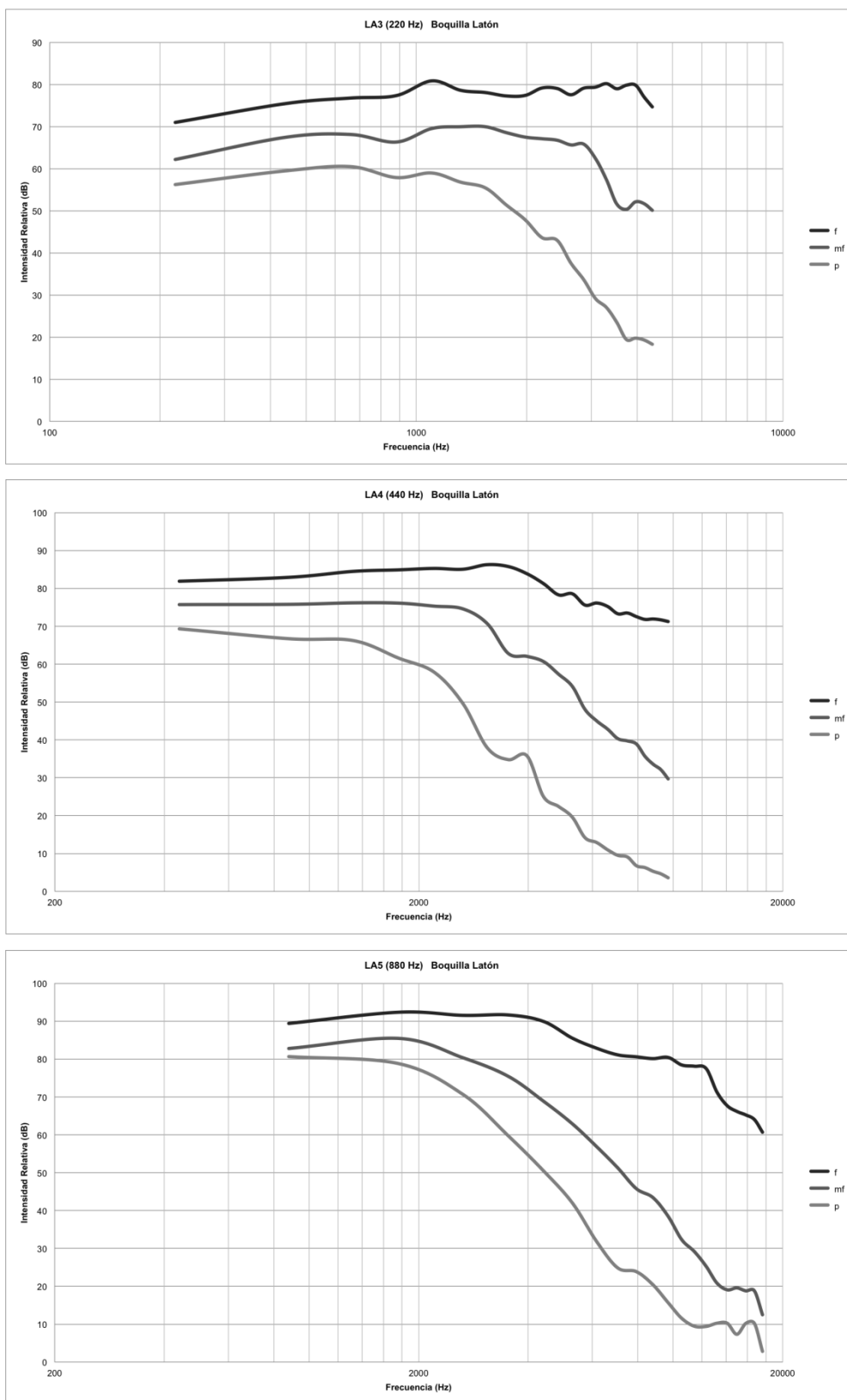


Figura 4.15. Espectro armónico (f, mf, p) de la boquilla de Latón

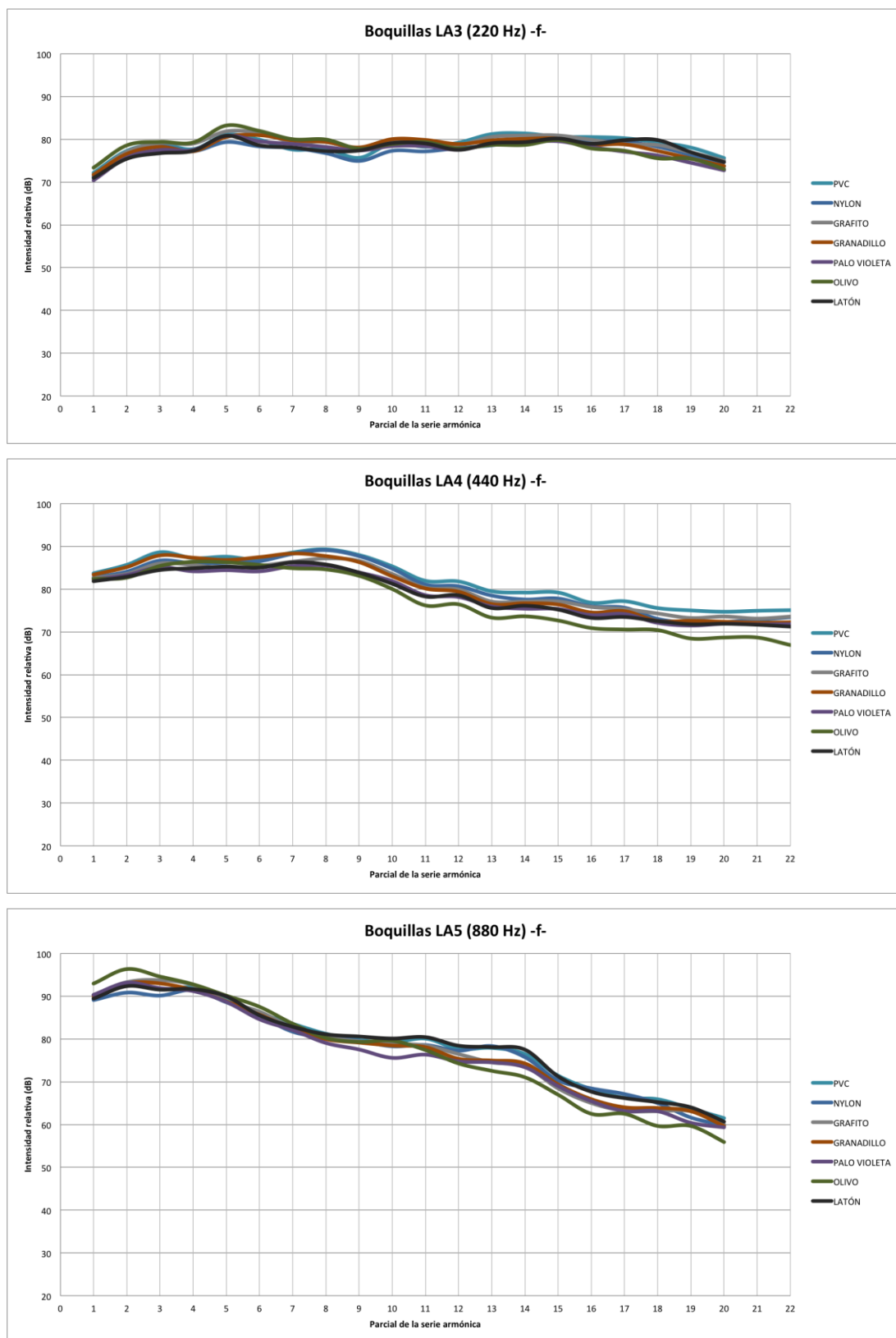


Figura 4.16. Espectro armónico de las boquillas – LA3, LA4 y LA5 intensidad fuerte

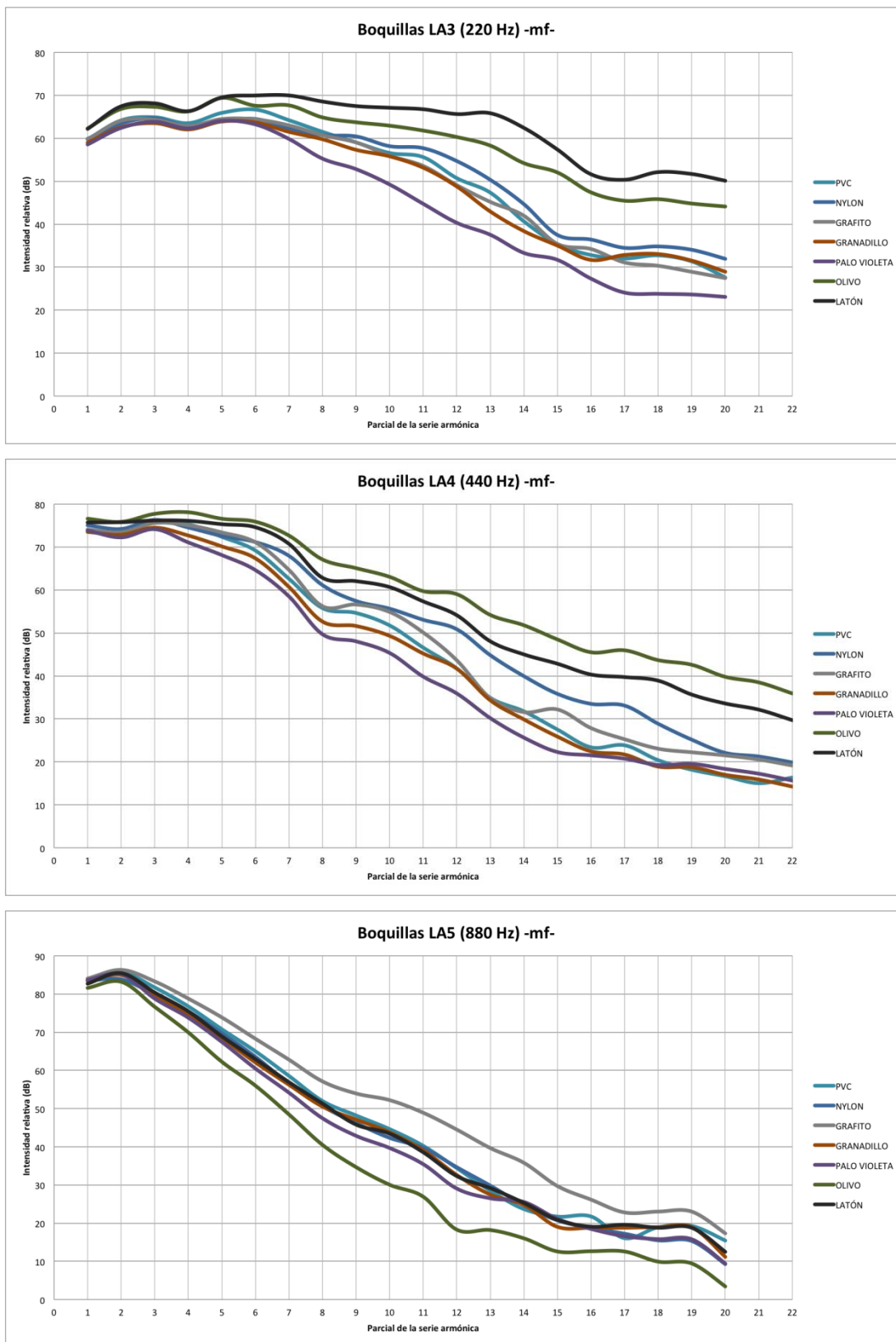


Figura 4.17. Espectro armónico de las boquillas – LA3, LA4 y LA5 intensidad mezzoforte

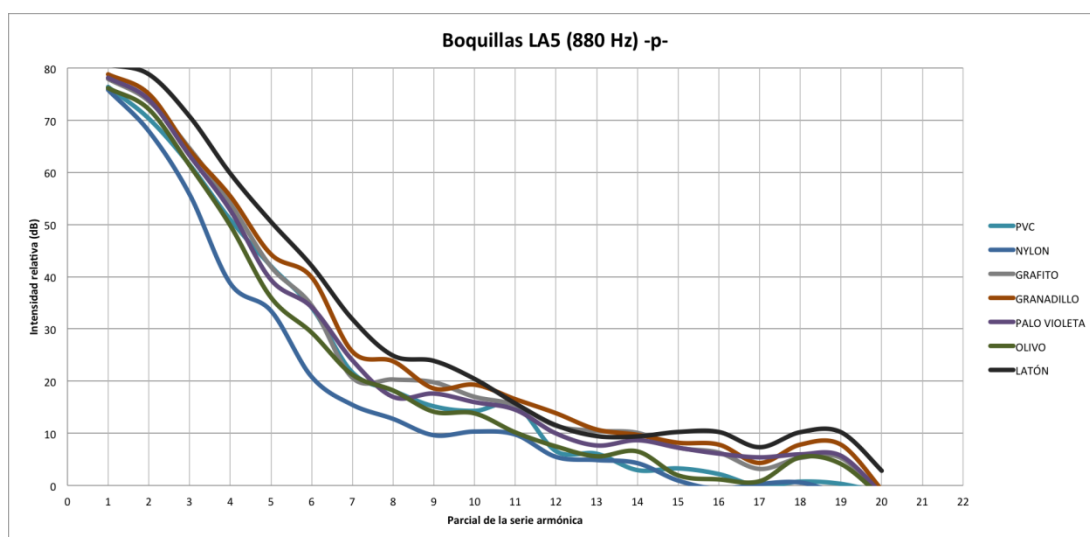
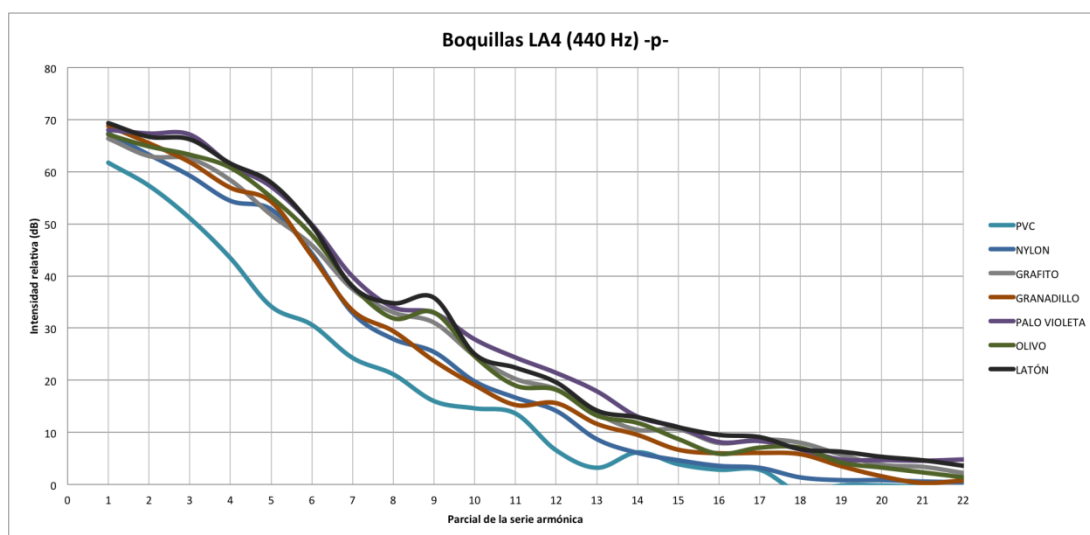
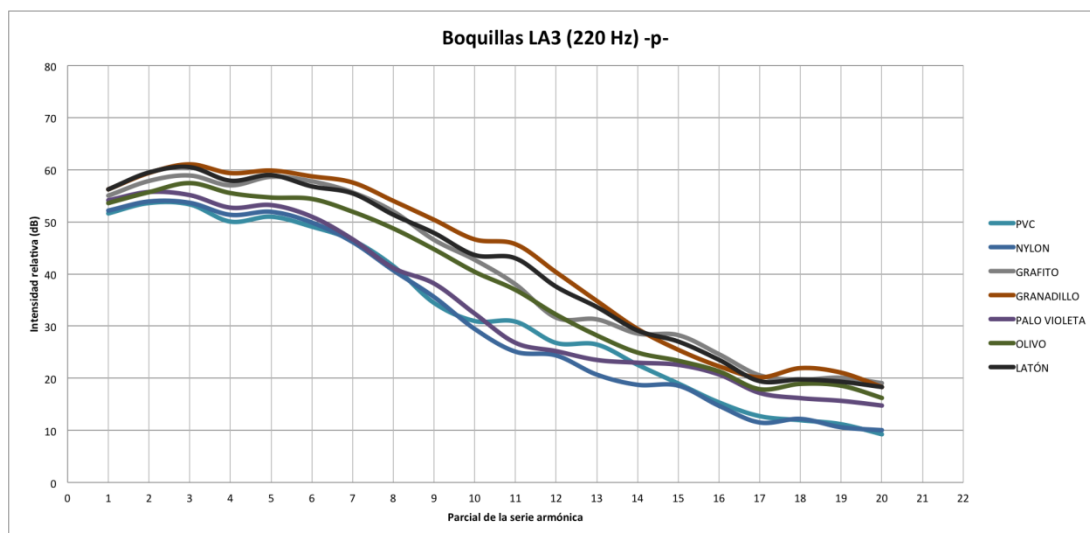


Figura 4.18. Espectro armónico de las boquillas – LA3, LA4 y LA5 intensidad piano

4.5.2. Afinación y estabilidad sonora

Se observa una tendencia similar en todas las boquillas (figura 4.19). En la gráfica puede apreciarse que para los registros medio y agudo, las notas emitidas con todas las boquillas presentan una afinación superior a la temperada. Para el registro grave, las respuestas difieren entre unas y otras. En este registro grave, las boquillas de nylon, grafito y granadillo presentan respuestas similares, con una subida en la afinación para el *mezzoforte* respecto del *piano* y una caída para el fuerte. En cuanto a las boquillas de PVC y latón, se observa una disminución de la afinación al aumentar la intensidad sonora. Las dos boquillas que presentan menor variación de la afinación en función de la intensidad son la de palo violeta y la de olivo.

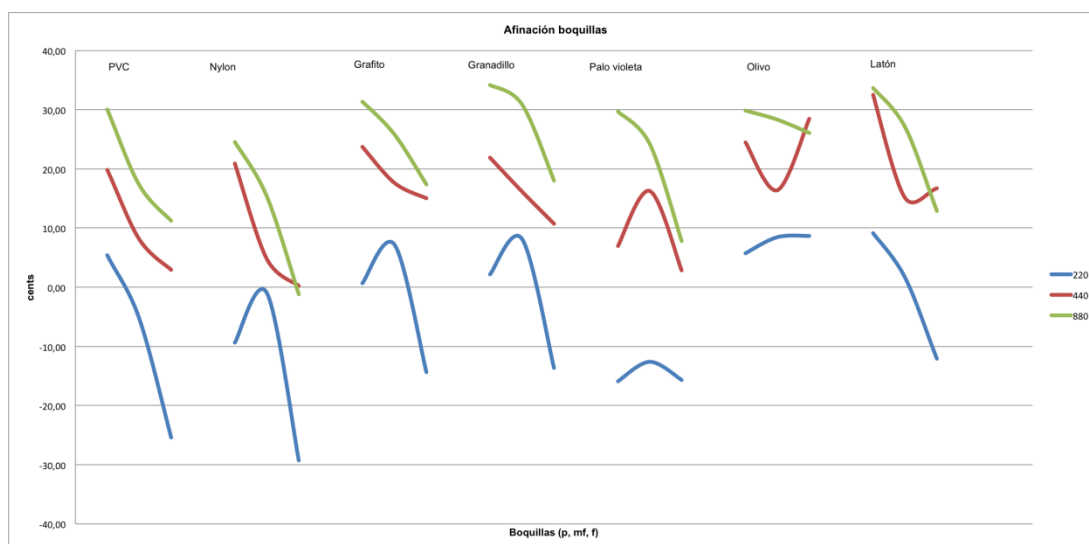


Figura 4.19. Desviación en cents de la afinación de las boquillas – LA3, LA4 y LA5 intensidades piano, mezzoforte y forte

La tendencia que siguen todas las boquillas, excepto la de palo violeta, olivo y latón, para el registro medio es similar, con un descenso de la afinación a medida que aumenta la intensidad. Para las boquillas citadas, se produce un aumento y descenso para la de palo santo, y un descenso y aumento para la de olivo y latón.

En cuanto al registro agudo, todas siguen la misma tendencia, disminuyendo la afinación de las notas a medida que crece la intensidad sonora, aunque si bien es cierto y tal y como ya se ha comentado, todas ellas presentan una afinación superior a la temperada.

También puede estudiarse la afinación de cada una de las boquillas para los tres registros y las tres intensidades a partir de las gráficas obtenidas mediante el programa de tratamiento de la señal Adobe® Audition® CS6 (figuras 4.20 a 4.26). Asimismo, se muestran tanto la forma de onda como el espectro sonoro.

La forma de onda permite estudiar la estabilidad sonora que presentan las notas emitidas por cada una de las siete boquillas. Todas las formas de onda cumplen con los requisitos estudiados para la envolvente de una nota, el ataque, relajación, sostén y caída, pero algunas presentan inestabilidades que muestran los inconvenientes de unas boquillas sobre otras. La forma de onda de las primeras notas emitidas, de la terna realizada, siempre es más irregular que las dos restantes. La tercera nota siempre presenta una mayor definición y estabilidad. A su vez, otra de las tendencias observadas es la que puede apreciarse en cuanto a una mejor estabilidad en la forma de onda para el registro medio, LA4, seguida del registro agudo, LA5, respondiendo las boquillas de forma más deficiente para el registro grave, LA3.

En cuanto a la afinación, gracias a los gráficos mostrados, puede estudiarse su variación en función del tiempo. En algunos casos esta variación sufre alteraciones debidas al propio análisis del software, pero en líneas generales todas ellas presentan las lógicas fluctuaciones propias de la emisión, mantenimiento y finalización de una nota musical interpretada por un instrumento musical real.

Gracias a los espectros sonoros mostrados pueden compararse las respuestas tímbricas de cada una de las boquillas. Estas gráficas si permiten diferenciar la calidad sonora al mostrar toda la serie armónica.

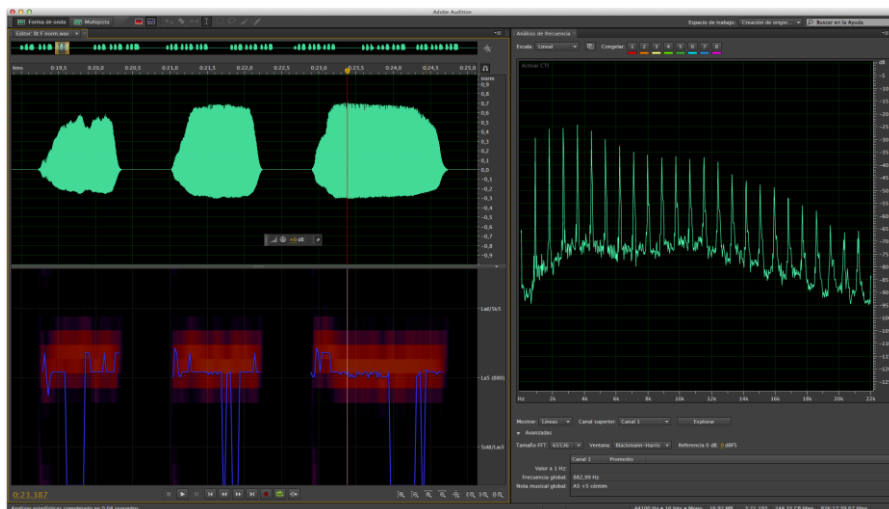
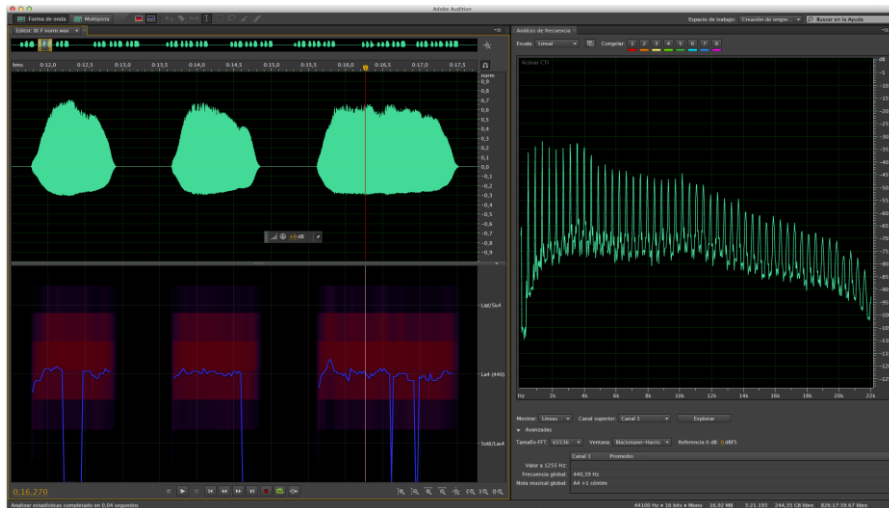
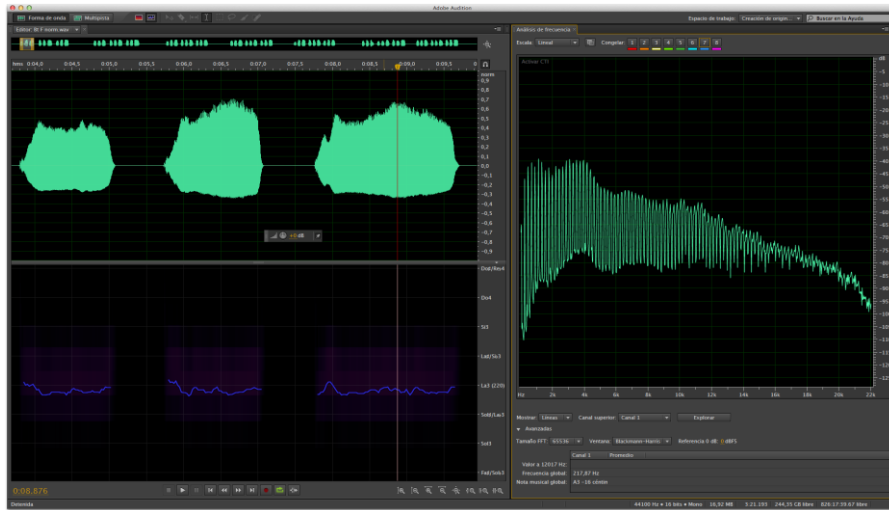


Figura 4.20. Forma de onda, afinación y espectro armónico – LA3, LA4 y LA5
Boquilla de PVC

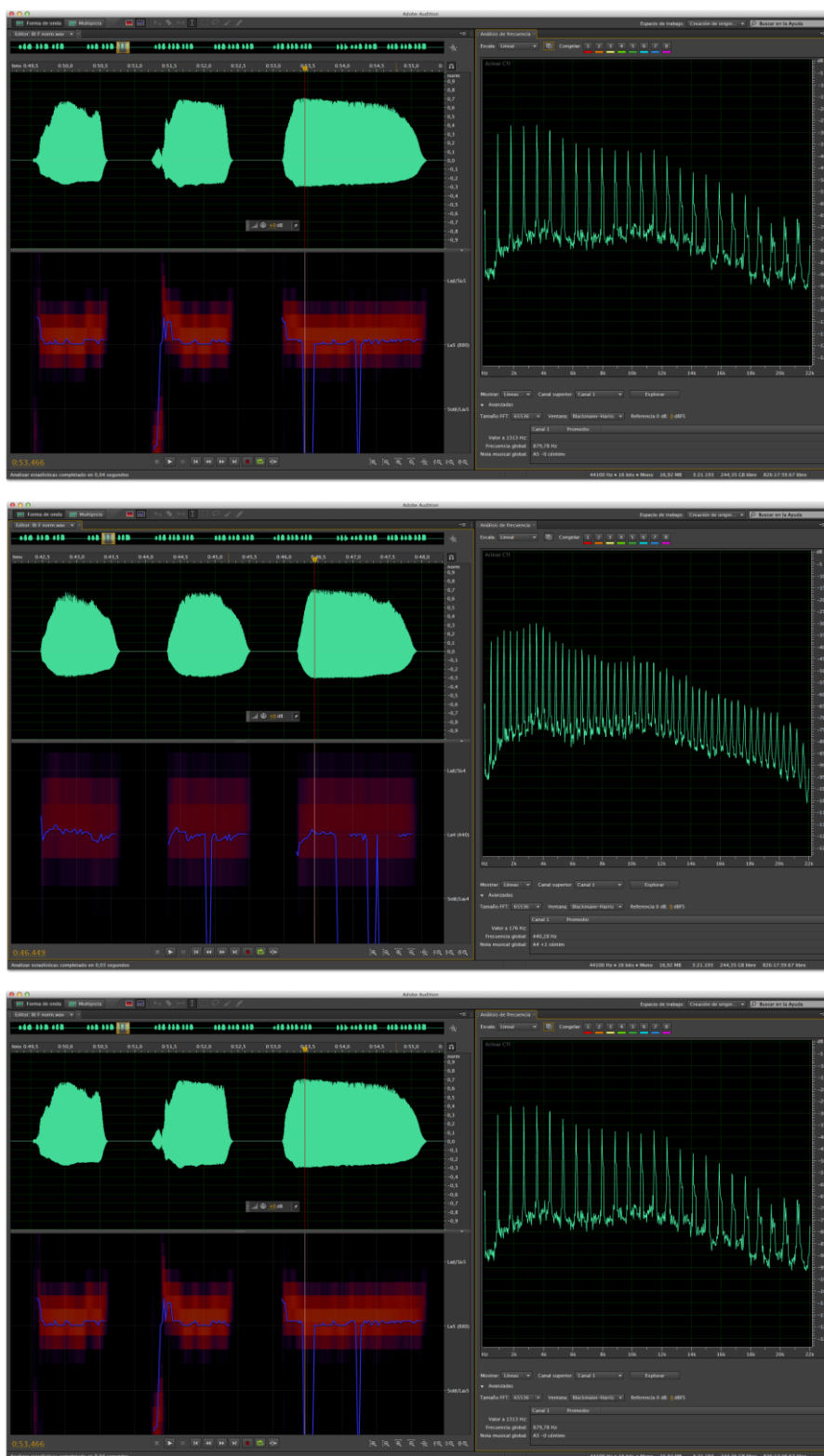
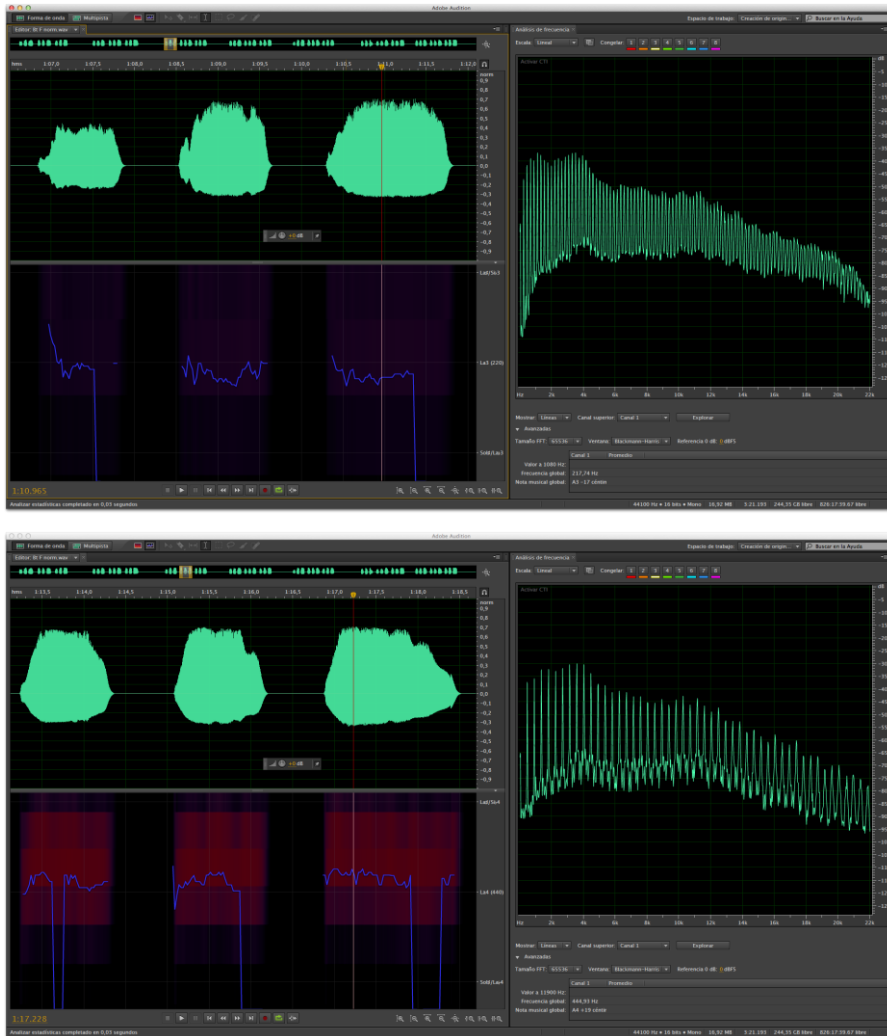


Figura 4.21. Forma de onda, afinación y espectro armónico – LA3, LA4 y LA5
Boquilla de Nylon



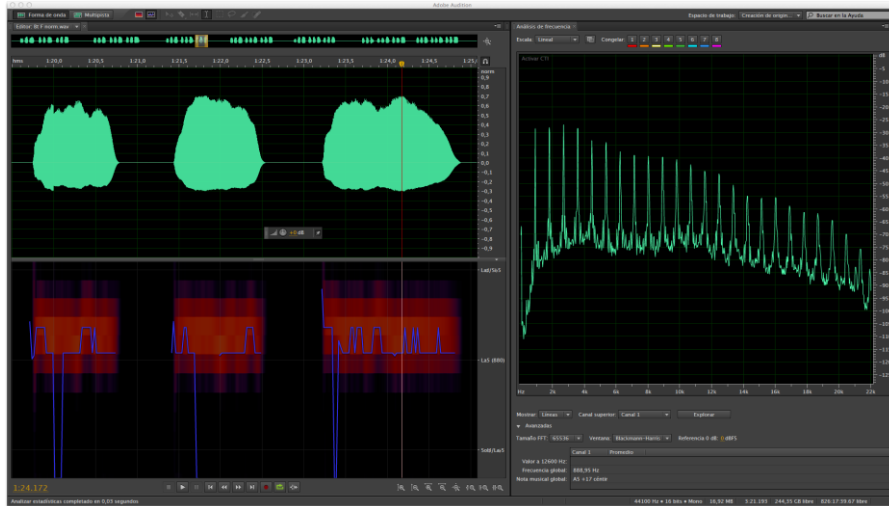
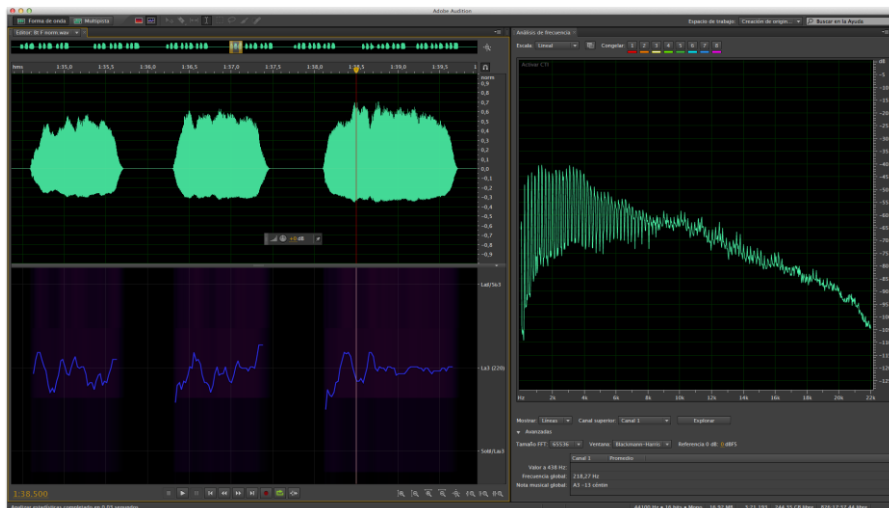


Figura 4.22. Forma de onda, afinación y espectro armónico – LA3, LA4 y LA5
Boquilla de Grafito



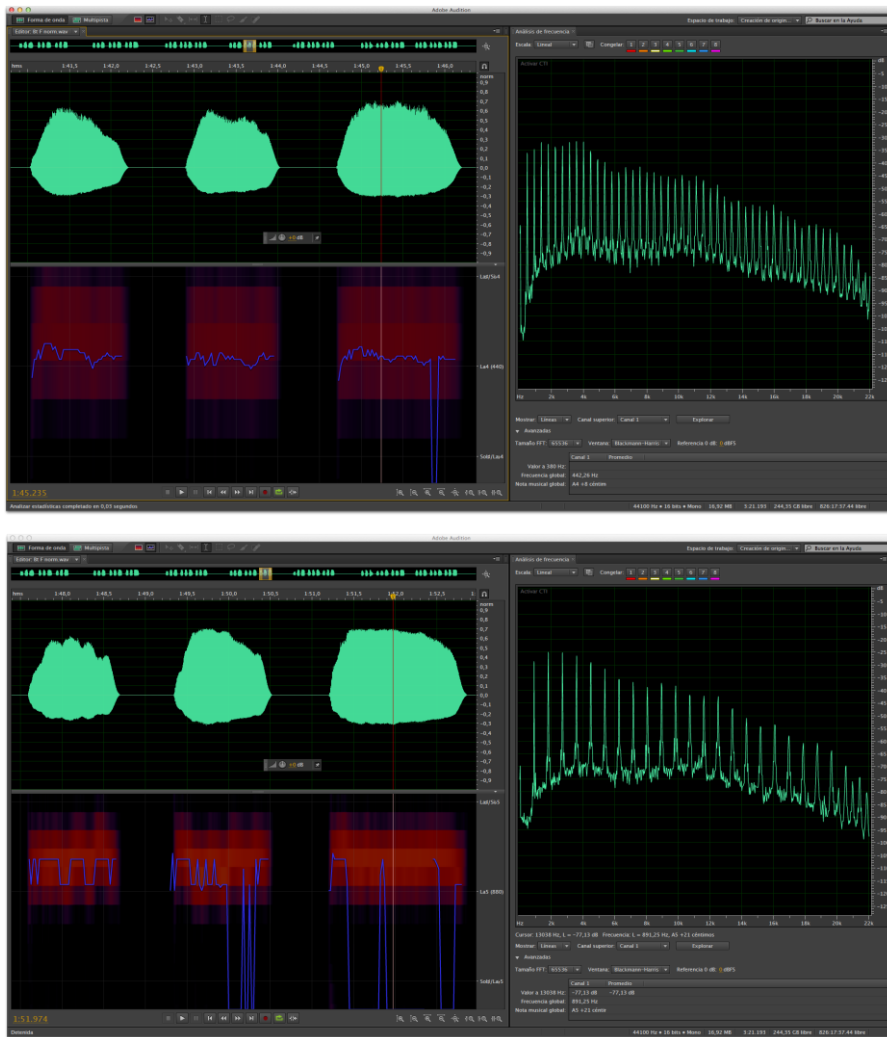


Figura 4.23. Forma de onda, afinación y espectro armónico – LA3, LA4 y LA5 Boquilla de Granadillo

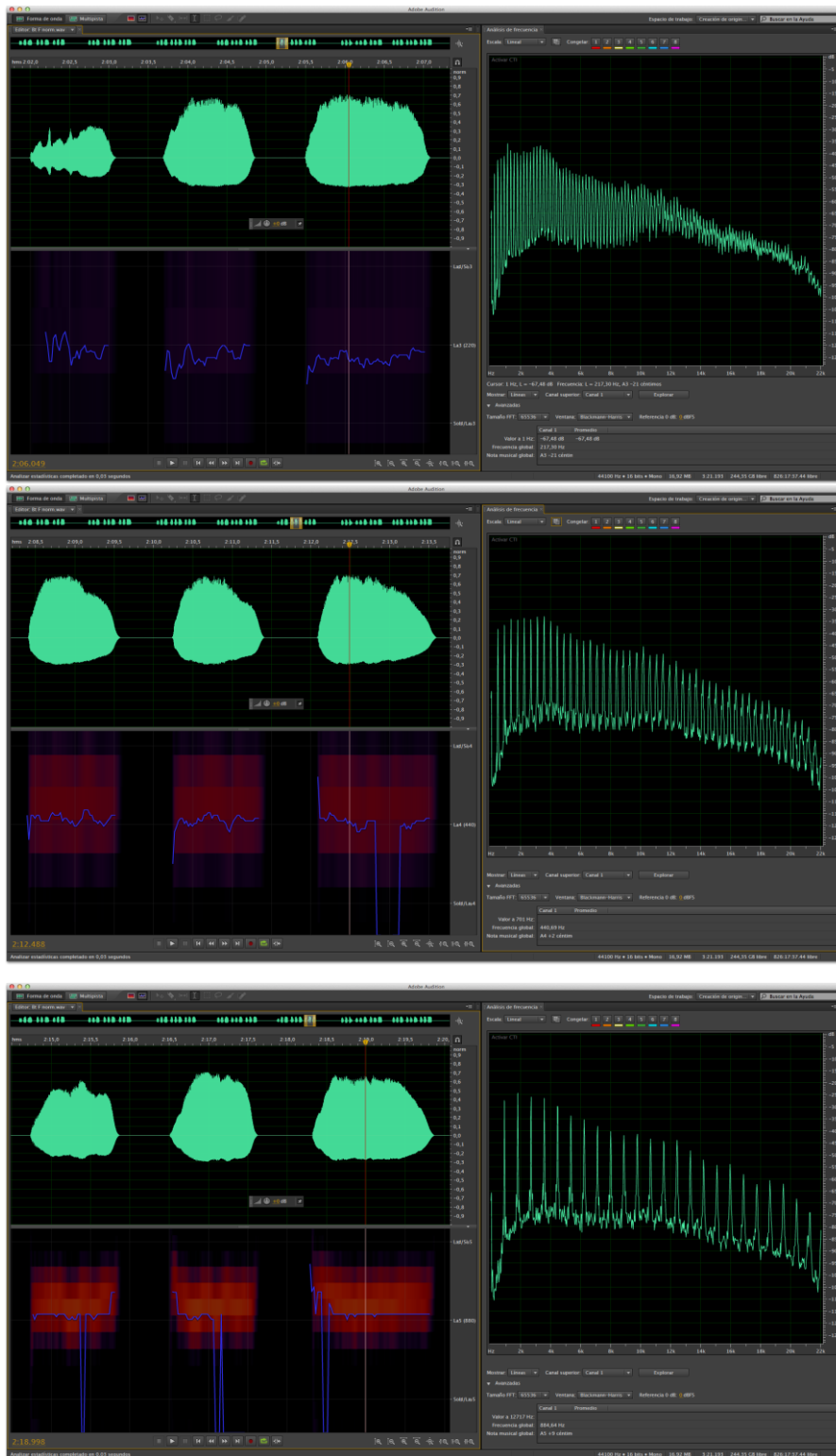


Figura 4.24. Forma de onda, afinación y espectro armónico – LA3, LA4 y LA5 Boquilla de Palo Violeta

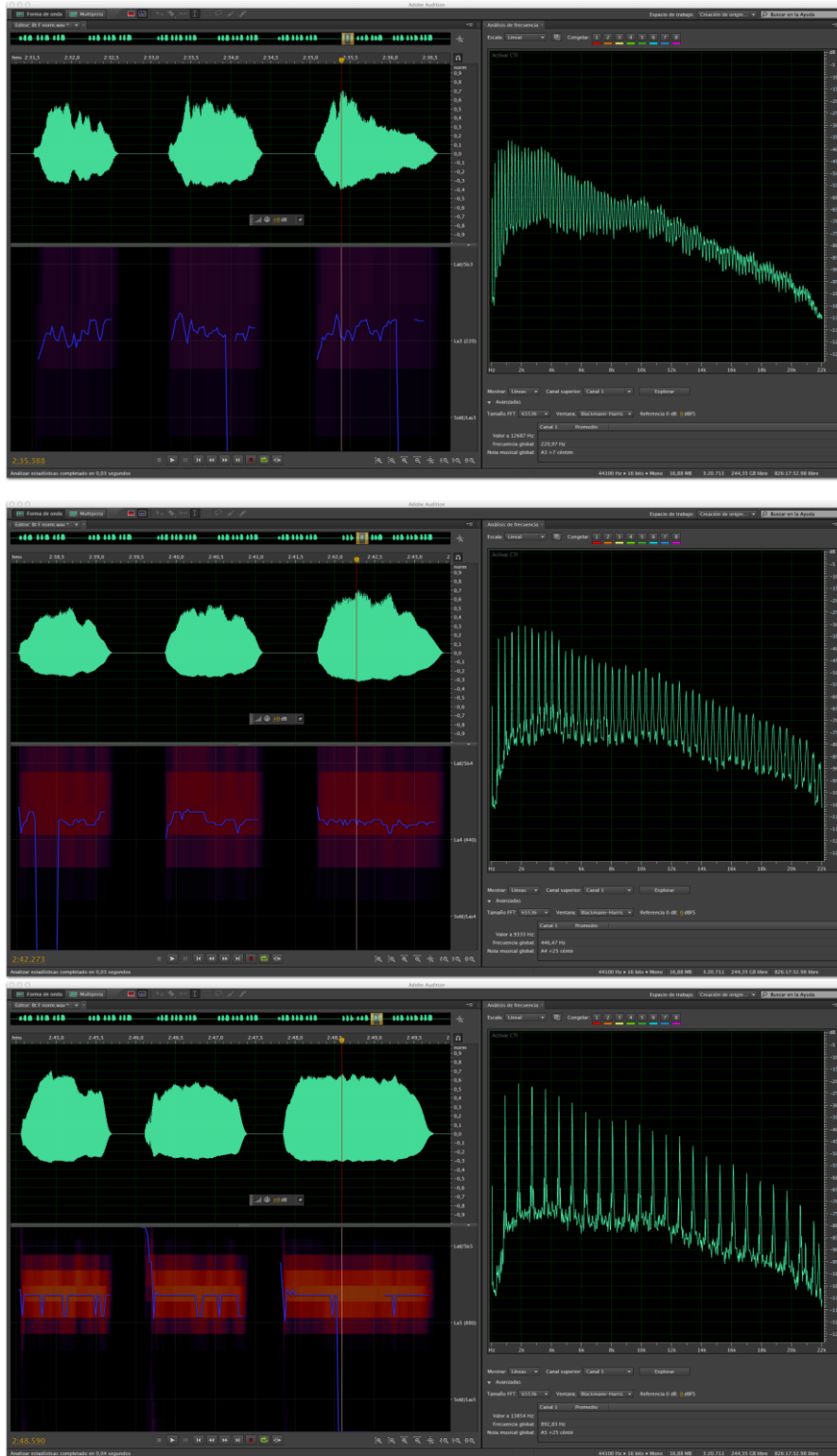


Figura 4.25. Forma de onda, afinación y espectro armónico – LA3, LA4 y LA5 Boquilla de Olivo

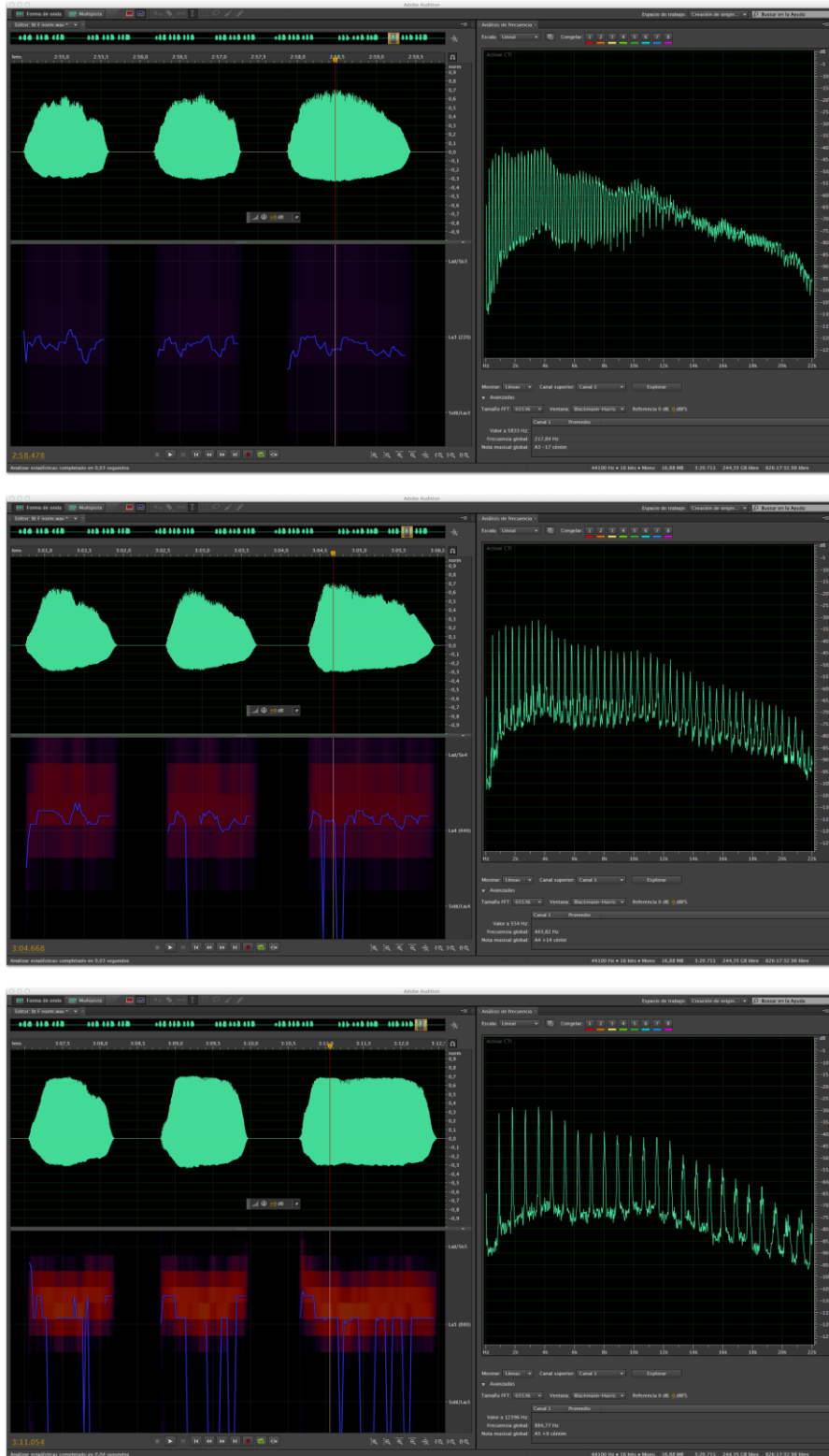


Figura 4.26. Forma de onda, afinación y espectro armónico – LA3, LA4 y LA5 Boquilla de Latón

4.5.3. Emisión o ataque

A partir de las forma de onda y con ayuda del programa de tratamiento de la señal Adobe® Audition® CS6 se han realizado cálculos de la emisión o ataque sonoro. En concreto, los resultado se han obtenidos a partir del estudio del crecimiento en intensidad sonora durante los primeros 300 ms. Una vez obtenida la máxima intensidad RMS, se calcula el tiempo transcurrido en alcanzarla y se realiza el cociente entre ambos. De este modo se hace un cálculo de la velocidad de ataque o emisión de las notas.

Para realizar este cálculo se ha empleado la intensidad de fuerte para cada uno de los tres registros. En las figuras 4.27 a 4.29 se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los registros, grave, medio y agudo.

Para el registro grave, la boquilla que mejor respuesta ofrece de ataque es la de granadillo, seguida de la de grafito y olivo. El resto de boquillas presentan todas unas condiciones similares (figura 4.27).

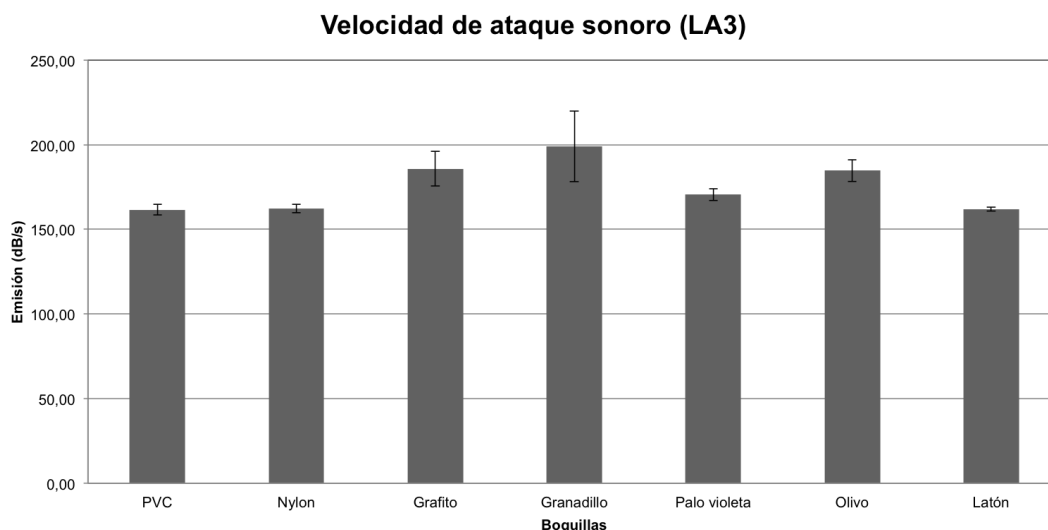


Figura 4.27. Emisión – velocidad de ataque LA3

Para el registro medio, figura 4.28, todas las boquillas presentan una respuesta en la velocidad de ataque sonoro similar, con una ligera ventaja de la boquilla fabricada con latón.

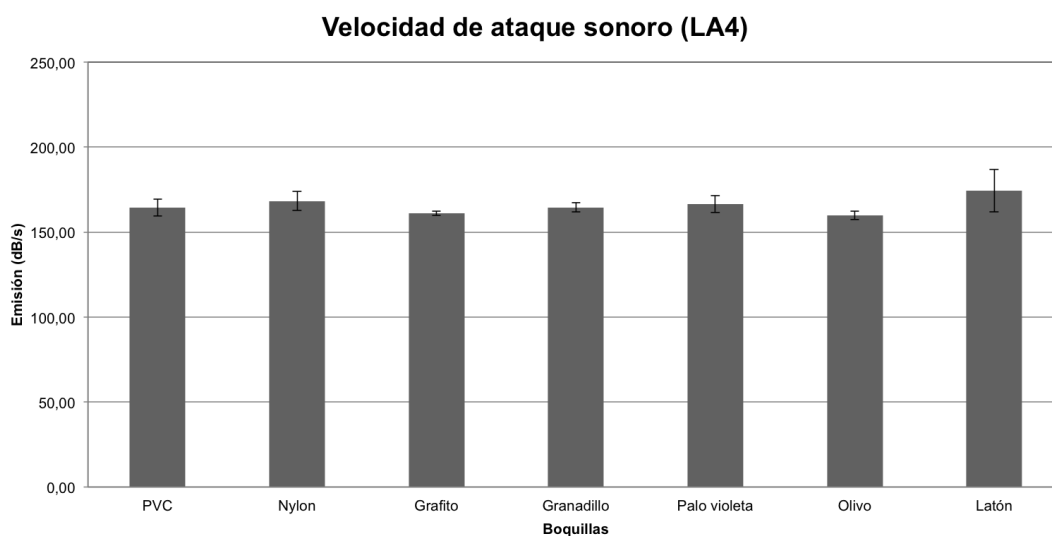


Figura 4.28. Emisión – velocidad de ataque LA4

Finalmente, en cuanto al registro agudo, figura 4.29, se puede observar que la boquilla de grafito y la de olivo presentan una mayor velocidad de ataque que el resto de boquillas, que presentan una respuesta similar en cuanto a velocidad de ataque.

En conjunto, la boquilla de grafito es la que mejor respuesta da a la velocidad de ataque, seguida por la de latón y las confeccionadas en madera, granadillo, palo violeta y olivo. Las que peor respuestas ofrecen son las boquillas fabricadas en PVC y en nylon. Las boquillas fabricadas en madera presentan una buena respuesta al ataque, comparable a la que comúnmente se emplea de latón.

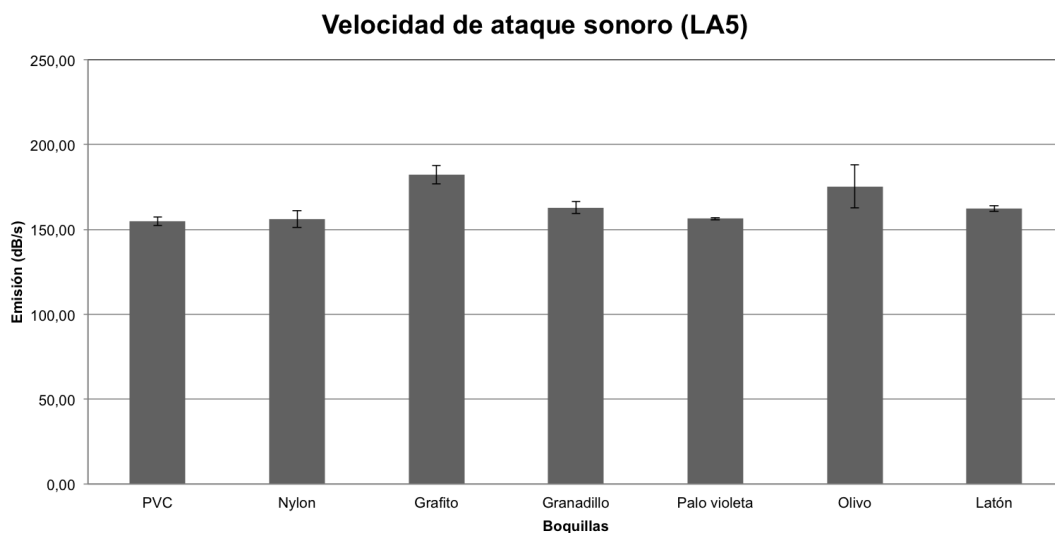


Figura 4.29. Emisión – velocidad de ataque LA5

El estudio de la velocidad de ataque sonoro muestra la facilidad o no de emisión de las boquillas y por consiguiente puede resultar de gran interés el presente estudio para determinar, según qué obra se vaya a interpretar, la elección de un tipo de material u otro en función del estilo musical.

Capítulo 5

Sordinas. Investigación experimental

5.1. DESCRIPCIÓN Y PARTES DE CADA UNO DE LOS TIPOS DE SORDINA

En la trompeta puede usarse un accesorio llamado sordina que se inserta en el pabellón para disminuir su sonido, o bien para producir, mediante una mayor presión del soplo, sonidos ásperos y estridentes de timbre muy particular.

Diversos son los materiales con los que hoy en día se fabrican las sordinas: aluminio, cobre, nylon, cartón, madera, etc. Todas estas tienen cabida en la música, ya que su utilización depende, en gran parte, del profesional, que es quien toma la decisión de utilizar las diferentes sordinas existentes. También contamos con el músico amateur, aunque normalmente sólo dispone de una.

Tres ha sido los tipos de sordinas empleados en esta investigación: la *straight*, la *cup* y la *harmon* o *wa-wa*, cuyos esquemas se muestran en la figura 5.1. En todos los casos, su uso modifica tanto el timbre sonoro como la intensidad, que

disminuye. El uso de sordinas produce una gran riqueza de dinámicas y de efectos sonoros que les confieren la versatilidad buscada por los compositores. De este modo, las sordinas son muy efectivas en la trompeta.

STRAIGHT

CUP

HARMON – WA-WA

Figura 5.1. Esquema con los tres tipos de sordinas estudiadas

Tal y como su nombre indica, uno de los objetivos de la sordina es reducir o atenuar la intensidad sonora del instrumento, pero esta reducción implica a su vez de manera irremediable un cambio en el timbre sonoro, produciéndose cambios en la calidad sonora final. Los diferentes tipos de sordinas explotan estas cualidades para conseguir determinados sonidos característicos que modifican el sonido original de la trompeta.

Todos los tipos de sordinas reducen el área efectiva de campana abierta, reduciéndose la intensidad radiada y añadiendo frecuencias de resonancia propias debidas a sus tubos y cavidades, que modifican el espectro armónico.

La mayoría de sordinas presentan, debido a su cavidad, su máxima admitancia o resonancia de Helmholtz en el rango de los 200 a 300 Hz. Esta resonancia causa una disminución en el espectro radiado entre el primer y segundo armónicos. El espectro armónico de la trompeta con sordina presenta su máximo nivel de presión sonora sobre los 1000 Hz.

5.2. EXPERIENCIAS REALIZADAS

Para la realización de la experiencia se han empleado tres tipos diferentes de sordinas: *straight*, *cup* y *harmon* o *wa-wa* (ver figura 5.1). Para la sordina *straight* se han empleado siete tipos de sordinas con los siguientes siete materiales: aluminio, aluminio y base de latón, aluminio lacado rojo con base de cobre, cobre, PVC, fibra de cartón dura y fibra de cartón blanda.

Para la tipo *cup* se han empleado cinco versiones con diferentes materiales: fibra de cartón dura, fibra de cartón blanda, PVC, aluminio y lacado negro, y aluminio. Finalmente, para la sordina tipo *harmon* se han empleado tres materiales: aluminio, cobre y aluminio con lacado rojo. En total se han estudiado y analizado quince sordinas diferentes.

Para llevar a cabo la experiencia se han realizado las mismas grabaciones con las quince sordinas, todas ellas insertas en la campana del mismo modelo de trompeta. Para todas ellas se ha interpretado tres veces cada nota con el fin de promediar los resultados y minimizar los posibles errores debidos al factor humano del intérprete. Para todas las sordinas se ha interpretado por triplicado las notas de la escala cromática desde FA3 a DO6 para una intensidad de mezzoforte, tal y como se muestra en la figura 5.2.



Figura 5.2. Escala cromática realizada con los tres tipos de sordinas

5.3 FICHAS TÉCNICAS Y MATERIALES DE LAS SORDINAS

5.3.1. Sordina *straight*

Tiene forma de pera, y puede estar construida en distintos materiales. Generalmente se construye en aluminio. El sonido que produce es un poco áspero y penetrante, muy usada en la orquesta sinfónica y en las bandas. La sordina *straight* o sordina ordinaria es la que más emplean los compositores en sus creaciones. Para la sordina *straight* se han empleado siete tipos de sordinas con los siguientes siete materiales:

- Aluminio
- Aluminio con base de latón
- Aluminio lacado rojo con base de cobre
- Cobre
- PVC
- Cartón fibra duro
- Cartón fibra blando

5.3.2. Sordina *cup*

La sordina cup o de copa es cónica, con su tudel donde se encuentran tres o cuatro láminas de corcho que sirven para sujetarla al pabellón del instrumento. El efecto de esta sordina puede variar. Cuanto más acerquemos la copa al pabellón más misterioso será el sonido y cuanto más la alejemos del pabellón el sonido será más claro y abovedado. Esta sordina es muy usada en las bandas sinfónicas y en las orquestas de música ligera, así como en el jazz.

Las sordinas cup o copa producen un sonido dulce debido a la copa que poseen en la parte inferior. El timbre obtenido es más oscuro y aterciopelado. En algunos modelos, la copa puede aproximarse o alejarse de la campana de la trompeta disminuyendo o aumentando el espacio entre ellas. Algunos modelos revisten la copa de material absorbente que atenúa todavía más el

sonido, resultando más velado e íntimo. Para la tipo cup se han empleado cinco sordinas con los siguientes materiales:

- Cartón fibra duro
- Cartón fibra blando
- PVC
- Aluminio y lacado negro
- Aluminio

5.3.3. Sorndina *harmon* o *wa-wa*

La sordina *harmon* está formada por dos partes, el cuerpo principal y el tudel acampanado que se inserta en el cuerpo principal. Esta sordina puede conseguir el famoso efecto *wa-wa* con un sonido claro y penetrante. El tudel acampanado puede deslizarse hasta sacarlo totalmente del cuerpo interior si se desea, consiguiendo un sonido más oscuro y velado. Esta sordina se emplea con asiduidad en la música de jazz. Desde el siglo XX se utiliza para buscar timbre y efectos innovadores. La sordina *harmon* o de *wa-wa* es la típica del jazz. También es quizás la más aceptada por los oyentes, dado que su sonido es el que menos cansa al oído. La sordina es muy bien acogida por los niños dado que su efecto sonoro es notorio.

Para la sordina tipo *harmon* se han empleado tres materiales:

- Aluminio
- Cobre
- Aluminio con lacado rojo.

A continuación se muestran las fichas para cada una de las quince sordinas estudiadas y analizadas.

SORDINA *STRAIGHT* ALUMINIO



Figura 5.1. Sordina straight de aluminio (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Straight</i>
MATERIAL	Aluminio
DENSIDAD	2,70 g/cm ³

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato.⁸ Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio. Metal plateado, maleable, dúctil y soldable. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

⁸ Vid. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA *STRAIGHT* ALUMINIO CON BASE DE LATÓN



Figura 5.2. Sordina straight de aluminio (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Straight</i>
MATERIAL	Aluminio con base de latón
DENSIDAD	Aluminio: 2,70 g/cm ³ ; Latón: 8,4 - 8,7 g/cm ³

El aluminio es un metal plateado, maleable, dúctil y soldable.⁹ El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. El latón es una aleación de cobre y zinc que se realiza en crisoles o en un horno de reverbero a una temperatura de fundición de unos 980°C.¹⁰ Las proporciones de cobre y zinc pueden ser variadas para crear un rango de latones con propiedades variables.

⁹ Vid. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm> [Consulta: 18-5-2015]

¹⁰ Vid. <http://www.delmetal.com.ar/productos/laton.html> [Consulta: 22-1-2015]

SORDINA *STRAIGHT* ALUMINIO LACADO ROJO CON BASE COBRE



Figura 5.3. Sordina *straight* de aluminio lacado rojo con base de cobre
(foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Straight</i>
MATERIAL	Aluminio lacado rojo con base de cobre
DENSIDAD	Aluminio: 2,70 g/cm ³ ; Cobre: 8,96 g/cm ³

El aluminio es un metal plateado, maleable, dúctil y soldable.¹¹ El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. El cobre¹² es un elemento químico de aspecto metálico, rojizo y pertenece al grupo de los metales de transición, de elevada dureza al tener puntos de ebullición y fusión elevados. Buen conductor de la electricidad y el calor.

¹¹ Vid. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm> [Consulta: 18-5-2015]

¹² Vid. <http://elementos.org.es/cobre> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA *STRAIGHT* DE COBRE



Figura 5.4. Sordina straight de cobre (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Straight</i>
MATERIAL	Aluminio lacado rojo con base de cobre
DENSIDAD	8,96 g/cm ³

El cobre es un elemento químico de aspecto metálico, rojizo y pertenece al grupo de los metales de transición, de elevada dureza al tener puntos de ebullición y fusión elevados. Buen conductor de la electricidad y el calor.¹³

¹³ Vid. <http://elementos.org.es/cobre> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA STRAIGHT DE PVC



Figura 5.5. Sordina straight de PVC (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	Straight
MATERIAL	PVC
DENSIDAD	1,42 g/cm ³

El cloruro de polivinilo o PVC resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetileno.¹⁴ Es un termoplástico con estructura amorfa que se distingue por su gran resistencia a los agentes químicos y sus excelentes propiedades mecánicas. Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de aplicaciones. Alta resistencia química, fácil mecanización, buenas propiedades dieléctricas, buen comportamiento en entornos corrosivos, puede ser soldado por aportación y por contacto, buena resistencia mecánica y al impacto y tiene una elevada resistencia a la abrasión.

¹⁴ Vid. http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_pvc_rigido.html [Consulta: 22-1-2015]

SORDINA *STRAIGHT* CARTÓN FIBRA BLANDO



Figura 5.6. Sordina *straight* de cartón fibra blando (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Straight</i>
MATERIAL	Cartón fibra blando
DENSIDAD	alrededor de 0,90 g/cm ³

Se trata de un cartón rígido confeccionado a partir de fibras lignocelulosas entrelazadas que se obtiene de madera reforestada.¹⁵ Las fibras se procesan en una operación de pulpeo termo-mecánico, formación y compactación en caliente y alta presión. En el proceso se adicionan productos químicos que mejoran las propiedades de densidad, dureza, acabado, color, estabilidad dimensional, resistencia a la abrasión, resistencia mecánica y resistencia a hongos, lamas e insectos. Es rígido, de gran resistencia, aislante acústico y absorbente sonoro.

¹⁵ Vid. <http://es.scribd.com/doc/179468154/Carton-Gris-o-Carton-Piedra#scribd> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA *STRAIGHT* CARTÓN FIBRA DURO



Figura 5.7. Sordina *straight* de cartón fibra duro (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Straight</i>
MATERIAL	Cartón fibra blando
DENSIDAD	alrededor de 0,90 g/cm ³

Se trata de un cartón rígido confeccionado a partir de fibras lignocelulosas entrelazadas que se obtiene de madera reforestada.¹⁶ Las fibras se procesan en una operación de pulpeo termo-mecánico, formación y compactación en caliente y alta presión. En el proceso se adicionan productos químicos que mejoran las propiedades de densidad, dureza, acabado, color, estabilidad dimensional, resistencia a la abrasión, resistencia mecánica y resistencia a hongos, lamas e insectos. Es rígido, de gran resistencia, aislante acústico y absorbente sonoro. Para endurecerlo se emplea un barniz extremadamente duro.

¹⁶ Vid. <http://es.scribd.com/doc/179468154/Carton-Gris-o-Carton-Piedra#scribd> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA CUP CARTÓN FIBRA DURO



Figura 5.8. Sordina cup de cartón fibra duro (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	Cup
MATERIAL	Cartón fibra blando
DENSIDAD	alrededor de 0,90 g/cm ³

Se trata de un cartón rígido confeccionado a partir de fibras lignocelulosas entrelazadas que se obtiene de madera reforestada.¹⁷ Las fibras se procesan en una operación de pulpeo termo-mecánico, formación y compactación en caliente y alta presión. En el proceso se adicionan productos químicos que mejoran las propiedades de densidad, dureza, acabado, color, estabilidad dimensional, resistencia a la abrasión, resistencia mecánica y resistencia a hongos, lamas e insectos. Es rígido, de gran resistencia, aislante acústico y absorbente sonoro. Para endurecerlo se emplea un barniz extremadamente duro.

¹⁷ Vid. <http://es.scribd.com/doc/179468154/Carton-Gris-o-Carton-Piedra#scribd> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA CUP CARTÓN FIBRA BLANDO



Figura 5.9. Sordina cup de cartón fibra blando (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	Cup
MATERIAL	Cartón fibra blando
DENSIDAD	alrededor de 0,90 g/cm ³

Se trata de un cartón rígido confeccionado a partir de fibras lignocelulosas entrelazadas que se obtiene de madera reforestada.¹⁸ Las fibras se procesan en una operación de pulpeo termo-mecánico, formación y compactación en caliente y alta presión. En el proceso se adicionan productos químicos que mejoran las propiedades de densidad, dureza, acabado, color, estabilidad dimensional, resistencia a la abrasión, resistencia mecánica y resistencia a hongos, lamas e insectos. Es rígido, de gran resistencia, aislante acústico y absorbente sonoro.

¹⁸ Vid. <http://es.scribd.com/doc/179468154/Car-ton-Gris-o-Car-ton-Piedra#scribd> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA CUP PVC



Figura 5.10. Sordina cup de PVC (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	Cup
MATERIAL	PVC
DENSIDAD	1,42 g/cm ³

El cloruro de polivinilo o PVC resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetileno.¹⁹ Es un termoplástico con estructura amorfa que se distingue por su gran resistencia a los agentes químicos y sus excelentes propiedades mecánicas. Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de aplicaciones. Alta resistencia química, fácil mecanización, buenas propiedades dieléctricas, buen comportamiento en entornos corrosivos, puede ser soldado por aportación y por contacto, buena resistencia mecánica y al impacto y tiene una elevada resistencia a la abrasión.

¹⁹ Vid. http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_pvc_rigido.html [Consulta: 22-1-2015]

SORDINA CUP ALUMINIO Y LACADO NEGRO



Figura 5.11. Sordina cup de aluminio lacado negro (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	Cup
MATERIAL	Aluminio lacado negro
DENSIDAD	2,70 g/cm ³

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza.²⁰ Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio. Metal plateado, maleable, dúctil y soldable. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

²⁰ Vid. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA CUP ALUMINIO



Figura 5.12. Sordina cup de aluminio (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	Cup
MATERIAL	Aluminio
DENSIDAD	2,70 g/cm ³

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza.²¹ Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio. Metal plateado, maleable, dúctil y soldable. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

²¹ Vid. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA *HARMON* ALUMINIO



Figura 5.13. Sordina harmon de aluminio (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Harmon</i>
MATERIAL	Aluminio
DENSIDAD	2,70 g/cm ³

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza.²² Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio. Metal plateado, maleable, dúctil y soldable. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

²² Vid. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm> [Consulta: 18-5-2015]

SORDINA *HARMON* COBRE



Figura 5.14. Sordina harmon de cobre (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Harmon</i>
MATERIAL	Cobre
DENSIDAD	8,96 g/cm ³

El cobre es un elemento químico de aspecto metálico, rojizo y pertenece al grupo de los metales de transición, de elevada dureza al tener puntos de ebullición y fusión elevados. Buen conductor de la electricidad y el calor.²³

²³ Vid. <http://elementos.org.es/cobre> [Consulta: 18-5- 2015]

SORDINA *HARMON* ALUMINIO LACADO ROJO



Figura 5.15. Sordina harmon de aluminio lacado rojo (foto del autor)

TIPO DE SORDINA	<i>Harmon</i>
MATERIAL	Aluminio lacado rojo
DENSIDAD	2,70 g/cm ³

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza.²⁴ Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en su producción. Metal plateado, maleable, dúctil y soldable. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

²⁴ Vid. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm> [Consulta: 18-5-2015]

5.4. ESTUDIO ACÚSTICO DE LAS DIFERENTES SORDINAS

5.4.1. Espectro armónico

Con el fin de comparar los materiales de fabricación de cada uno de los tipos de sordinas estudiadas y los diferentes tipos entre ellos, en primer lugar se realiza el estudio del espectro armónico, ya que su análisis ofrece una gran y valiosa información del timbre resultante. En este apartado se estudia y compara el espectro armónico de cada una de las sordinas interpretando el LA3.

En primer lugar se muestran las tablas con los valores obtenidos para los 20 primeros armónicos de la nota LA3 con las respectivas desviaciones estándar tras el cálculo del promedio para los siete materiales de construcción de las sordinas, todas ellas emitidas en una intensidad medio fuerte.

En la tabla 5.1 se plasman los cálculos para las siete sordinas *straight*, es decir, construidas en aluminio, aluminio con base de latón, aluminio con base de cobre, cobre, PVC, cartón fibra duro y cartón fibra blando. Se muestran a su vez las desviaciones estándar cuya información permite comprobar para qué boquillas los resultados son más óptimos.

	Al	DE	Al+I	DE	Al+c	DE	Cu	DE	PVC	DE	Cfd	DE	Cfb	DE
1	55,3		53,0		49,5		51,7		55,7		46,6		49,2	
	6	0,67	6	0,40	8	0,41	7	0,32	6	0,32	0	0,59	3	0,45
2	64,0		62,5		61,0		63,0		64,0		56,8		50,9	
	9	1,62	8	0,67	7	1,32	2	0,45	9	1,27	0	1,52	8	0,68
3	66,5		65,9		62,9		65,5		66,8		59,4		54,2	
	5	1,57	4	0,57	1	1,23	2	0,67	1	1,73	1	1,69	2	1,34
4	64,3		63,7		61,4		63,0		64,4		57,5		51,7	
	0	1,93	5	1,27	2	0,90	0	0,96	3	1,59	2	1,38	1	1,92
5	65,8		65,7		63,9		65,6		68,4		59,8		55,1	
	5	0,74	8	1,39	9	1,08	8	1,33	9	1,29	0	2,37	5	1,99
6	69,2		69,4		64,6		69,3		70,5		62,8		57,0	
	4	1,11	6	0,84	4	1,29	1	1,64	5	0,92	4	2,53	5	2,79
7	70,8		69,4		63,6		70,4		69,0		59,1		53,6	
	4	0,33	8	0,88	4	2,08	0	0,86	8	1,25	6	2,91	9	2,97
8	64,4		58,5		65,5		65,0		54,3		66,6		59,2	
	3	1,61	1	0,89	7	3,16	2	1,51	4	3,43	3	4,38	4	2,15
9	74,7		74,6		66,6		76,2		76,3		72,9		63,3	
	9	2,57	8	1,29	7	2,03	5	1,12	0	1,80	9	4,06	2	3,85
10	72,8		74,9		68,3		77,6		75,9		70,0		64,9	
	8	1,38	3	1,66	7	2,44	4	1,68	6	1,62	7	3,97	4	2,38
11	73,0		75,3		68,2		78,0		75,9		70,2		64,9	
	9	0,85	3	1,01	6	1,83	9	1,95	5	1,93	5	3,67	8	3,21
12	70,8		73,6		66,8		77,1		74,9		67,1		62,5	
	6	0,71	3	0,86	9	1,74	0	2,44	8	2,13	8	3,79	1	2,95
13	73,4		75,4		66,7		77,3		64,2		69,4		68,1	
		0,24		0,37		0,89		1,49		1,25		0,77		1,40

14	3 67,6 8		7 69,9 7		2 67,6 3		4 69,0 3		3 75,4 9		6 71,5 4		8 69,6 2		3,13
15	71,7 1	1,18	72,5 0	0,83	65,1 8	2,47	73,4 1	1,70	74,3 9	2,74	69,6 2	1,83	68,4 8	2,55	
16	70,4 7	1,43	69,0 4	0,99	63,6 8	2,21	71,8 7	1,50	71,7 6	2,86	65,2 4	2,09	65,4 9	2,21	
17	69,1 7	1,68	69,1 5	1,21	61,8 5	2,61	71,9 9	1,68	69,1 2	3,31	63,0 2	2,40	60,3 0	2,86	
18	68,8 7	1,56	67,8 5	0,97	56,4 6	2,23	70,9 9	2,33	54,6 6	4,01	65,2 0	0,84	61,4 8	1,97	
19	68,8 7	2,01	67,4 5	0,55	60,7 6	2,56	69,5 9	0,93	70,7 6	6,19	65,3 0	0,78	62,9 8		
20	68,3 5	2,01	67,6 4	0,97	59,7 5	3,18	66,8 7	2,08	69,9 1	2,94	65,3 1	1,22	62,9 1	1,51	
		1,53		0,92		3,83		1,18		2,44		2,14		1,51	

Tabla 5.1. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3 Sordinas straight

En la tabla 5.2 se muestran los cálculos para las cinco sordinas tipo *cup*, es decir para las fabricadas en cartón fibra duro, cartón fibra blando, PVC, aluminio lacado negro y aluminio, todas ellas también con sus respectivas desviaciones estándar.

	Cfd	DE	Cfb	DE	PVC	DE	Al ne	DE	Al	DE
1	43,26	1,21	52,21	0,23	52,46	1,62	40,47	0,79	51,21	1,05
2	59,29	1,12	61,73	0,22	60,76	1,87	62,04	0,54	56,92	1,36
3	61,99	1,25	68,58	0,23	63,46	1,99	73,65	0,17	64,06	1,45
4	63,72	2,49	67,60	0,86	60,86	2,30	58,46	0,67	71,70	2,00
5	70,66	3,55	60,44	1,46	62,55	2,26	49,75	1,05	55,72	2,38
6	59,70	3,65	54,81	1,72	68,20	3,11	52,10	1,84	43,57	2,50
7	51,92	2,67	32,91	0,92	62,30	4,51	43,53	3,39	34,02	2,66
8	49,00	1,61	31,29	1,91	45,40	1,32	38,27	2,17	30,04	0,30
9	49,36	1,48	37,35	2,35	56,78	5,61	41,64	2,77	29,98	3,41
10	47,56	1,36	40,00	1,53	54,07	3,53	36,22	2,20	47,60	4,36
11	36,62	3,66	40,21	0,63	51,30	2,79	38,08	2,17	42,75	3,28
12	41,15	1,33	47,11	0,63	46,33	2,31	43,14	3,16	56,03	1,81
13	55,24	2,75	57,37	0,23	41,69	4,10	51,09	1,23	57,98	0,36
14	55,34	1,53	53,11	2,81	53,36	8,14	53,92	2,08	62,09	1,52
15	46,88	0,87	54,15	0,64	51,24	6,23	37,15	2,43	50,84	2,55
16	56,69	6,31	52,49	0,48	47,43	7,65	51,17	3,91	57,75	2,00
17	56,33	6,01	55,45	0,74	45,07	9,59	51,85	1,94	56,81	1,99
18	50,89	5,13	50,20	1,65	43,03	7,13	50,06	1,29	51,13	4,91
19	45,21	1,88	50,85	1,24	41,85	7,06	48,04	1,78	55,99	2,51
20	49,11	3,70	44,41	3,59	39,41	10,84	36,27	3,22	51,76	4,82

Tabla 5.2. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3 Sordinas cup

Para las sordinas tipo *harmon* se muestran los cálculos realizados en la tabla 5.3, para los materiales de construcción de aluminio, cobre y aluminio rojo, todas ellas con sus respectivas desviaciones estándar.

En todos los casos se han estudiado los veinte primeros armónicos, lo que conlleva un estudio desde los 220 Hz a los 4.500 Hz aproximadamente. Para un mayor estudio se mostrarán los espectros obtenidos mediante el programa de tratamiento de la señal sonora Adobe® Audition® CS6. Estos gráficos muestran de una forma precisa todos los armónicos del rango audible, desde los 20 a los 22.000 Hz

	Al	DE	Cu	DE	Al rojo	DE
1	45,63	0,43	38,60	4,28	45,92	0,61
2	38,89	1,04	28,17	10,77	43,07	1,18
3	44,28	1,59	12,32	15,93	49,54	1,61
4	49,28	1,97	26,28	11,90	54,39	1,57
5	56,48	3,08	35,54	10,61	61,04	2,07
6	65,00	2,70	42,72	10,89	65,69	1,85
7	61,63	1,86	54,30	10,45	61,75	2,00
8	56,98	2,89	45,99	15,93	58,52	2,04
9	56,85	1,94	57,47	5,71	54,27	1,40
10	56,84	3,40	61,92	2,83	64,72	2,43
11	48,16	2,47	52,96	4,13	68,76	1,98
12	61,97	2,70	48,27	3,18	66,27	1,60
13	63,45	1,55	49,29	1,32	60,72	0,77
14	63,60	4,39	46,43	2,63	47,96	2,78
15	60,24	2,64	48,05	2,29	39,95	2,79
16	43,89	5,87	59,32	4,80	43,89	4,58
17	35,35	3,65	55,30	3,54	50,67	3,21
18	38,73	2,46	42,11	3,12	56,80	2,71
19	40,58	1,38	35,70	2,69	55,49	2,17
20	41,87	1,99	44,17	3,10	53,05	3,76

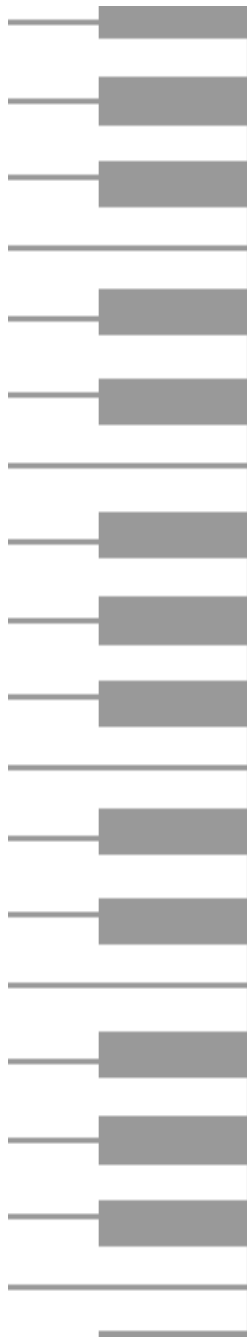
*Tabla 5.3. Intensidad relativa de la serie de armónicos del LA3
Sordinas harmon*

5.4.2. Afinación

Para el estudio de la respuesta de la afinación de las diferentes sordinas se ha realizado la misma experiencia para todas y cada una de ellas. Se grabó en la cámara anecoica la escala cromática repitiendo cada una de las notas tres veces. A continuación se muestra las tablas con el promedio de afinación con sus respectivos cents y la desviación estándar para cada una de las sordinas.

En la tabla 5.4 se muestran los cálculos para las sordinas *straight* de aluminio, aluminio con base de latón y aluminio con base de cobre. En la tabla 5.5 se muestran los cálculos de las sordinas *straight* de cobre, PVC y cartón fibra duro. En la tabla 5.6 se muestran los cálculos de la sordina *straight* de cartón fibra blando y de las sordinas *cup* de cartón fibra duro y cartón fibra blando. En la tabla 5.7 se muestran los cálculos para las sordinas *cup* de PVC, de aluminio negro y aluminio. Finalmente en la tabla 5.8 se muestran los cálculos realizados para las sordinas tipo *harmon* fabricadas en aluminio, cobre y aluminio rojo.

	Straight Aluminio			Straight Aluminio latón			Straight Aluminio cobre		
	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents

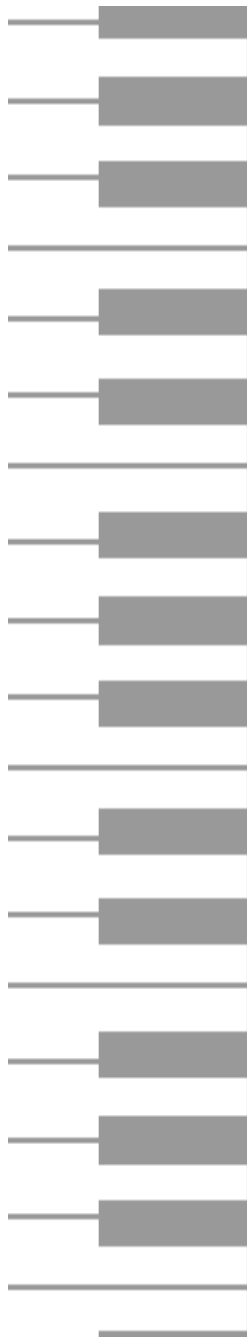


FA # 3	189,54	0,52	42,03	190,48	0,17	50,56	188,54	0,10	32,87
SOL 3	199,57	0,32	31,27	199,72	0,20	32,60	196,36	0,25	3,20
SOL # 3	207,31	0,07	-2,86	209,37	0,31	14,29	207,46	0,28	-1,63
LA 3 (220 Hz)	222,30	1,50	17,98	221,64	0,10	12,88	221,56	0,21	12,21
SI b 3	236,41	0,19	24,55	234,69	0,18	11,90	234,36	0,20	9,47
SI 3	251,31	1,55	30,38	250,46	0,34	24,49	246,51	0,33	-3,03
DO 4	264,57	0,32	19,38	264,38	0,18	18,15	260,71	0,32	-6,07
DO # 4	286,46	0,37	57,00	282,70	0,23	34,14	280,96	0,88	23,41
RE 4	297,74	0,28	23,88	295,40	0,29	10,20	298,37	0,38	27,50
MI b 4	314,04	0,61	16,12	313,71	0,39	14,31	310,35	2,81	-4,33

MI 4	333,33	0,54	19,34	333,15	0,29	18,40	333,02	0,23	17,74
FA 4	352,10	0,34	14,18	351,39	0,32	10,67	350,48	0,24	6,18
FA # 4	372,71	0,42	12,66	373,17	0,88	14,81	369,52	0,83	-2,21
SOL 4	394,80	0,92	12,36	395,05	0,24	13,45	392,28	1,35	1,27
SOL # 4	417,70	1,62	9,96	418,25	1,38	12,23	415,10	1,36	-0,85
LA 4 (440 Hz)	445,43	0,56	21,25	445,86	0,96	22,89	443,10	0,51	12,14
SI b 4	471,27	0,80	18,85	470,33	0,38	15,39	467,30	1,49	4,23
SI 4	497,09	0,93	11,20	498,36	1,91	15,61	494,56	2,18	2,37
DO 5	528,71	0,66	17,97	526,99	2,47	12,32	524,99	1,86	5,73
DO # 5	558,09	0,77	11,59	557,43	1,31	9,54	552,96	0,37	-4,40
RE 5	590,92	0,45	10,56	587,89	1,97	1,64	586,08	1,61	-3,70
MI b 5	625,36	1,86	8,62	622,34	1,29	0,25	621,10	0,91	-3,20
MI 5	661,80	1,94	6,66	661,16	0,49	5,00	658,48	0,23	-2,05
FA 5	707,88	0,58	23,21	707,48	1,19	22,23	706,52	1,38	19,86
FA # 5	752,97	0,90	30,10	750,81	1,74	25,13	744,40	4,19	10,30
SOL 5	801,52	0,69	38,28	801,64	0,92	38,54	791,70	3,49	16,93
SOL # 5	848,37	3,67	36,63	842,60	0,94	24,82	837,83	3,13	14,98
LA 5 (880 Hz)	898,13	1,15	35,30	894,20	2,13	27,71	890,58	3,58	20,70
SI b 5	945,84	2,21	24,92	942,02	0,32	17,90	942,36	4,15	18,52
SI 5	999,76	1,42	20,89	1000,09	3,75	21,46	991,25	0,72	6,09
DO 6	1062,95	3,18	26,99	1071,96	3,16	41,61	1057,35	3,68	17,85

*Tabla 5.4. Frecuencias (Hz) escala cromática y cents afinación temperada
Sordinas straight: aluminio, aluminio latón, aluminio cobre*

	Straight Cobre			Straight PVC			Straight Cartón fibra duro		
	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents

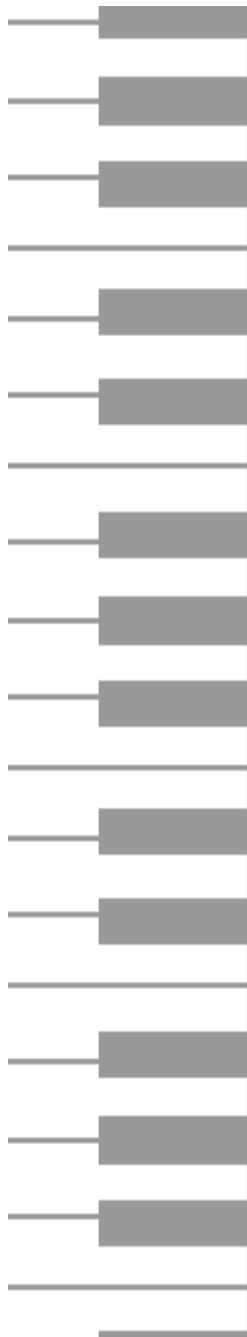


FA # 3	188,57	0,73	33,12	188,70	1,01	34,31	190,19	0,20	47,93
SOL 3	203,21	0,36	62,56	197,93	0,80	16,95	196,63	0,33	5,55
SOL # 3	212,58	0,47	40,63	208,29	0,17	5,31	213,49	0,05	47,97
LA 3 (220 Hz)	223,43	0,55	26,81	223,24	0,02	25,34	220,68	0,41	5,34
SI b 3	236,72	0,05	26,84	236,31	0,32	23,84	236,19	0,28	22,96
SI 3	252,47	0,32	38,33	249,19	0,35	15,67	252,78	0,26	40,45
DO 4	266,42	0,44	31,44	266,45	0,55	31,66	266,08	0,11	29,23
DO # 4	284,49	0,27	45,05	284,18	0,33	43,14	276,08	0,11	-6,92
RE 4	298,12	0,47	26,09	299,86	0,45	36,12	297,34	0,24	21,51
MI b 4	315,38	0,99	23,49	312,07	1,07	5,26	315,24	0,56	22,75

MI 4	335,44	0,37	30,26	333,50	1,43	20,20	336,03	0,45	33,32
FA 4	355,01	0,12	28,41	353,14	1,07	19,28	352,54	0,86	16,34
FA # 4	375,44	0,42	25,29	373,40	1,65	15,86	371,94	1,74	9,06
SOL 4	397,30	0,41	23,28	393,60	1,22	7,09	395,26	0,86	14,37
SOL # 4	419,96	0,97	19,28	418,44	0,34	13,01	418,83	1,30	14,63
LA 4 (440 Hz)	448,40	0,74	32,73	445,89	0,29	23,01	445,89	0,60	23,03
SI b 4	473,02	0,45	25,29	470,30	0,81	15,31	470,90	0,81	17,49
SI 4	500,46	1,11	22,91	497,24	0,20	11,74	497,82	0,70	13,76
DO 5	532,09	1,73	28,99	526,70	1,43	11,37	528,99	0,46	18,88
DO # 5	561,66	2,16	22,63	558,63	0,49	13,27	558,63	0,22	13,27
RE 5	593,76	0,60	18,86	590,01	1,29	7,89	592,21	1,95	14,32
MI b 5	629,16	0,78	19,10	621,74	2,14	-1,43	624,82	0,85	7,12
MI 5	667,70	0,28	22,04	666,15	0,99	18,00	667,04	0,95	20,32
FA 5	714,38	2,30	39,03	710,55	0,75	29,71	711,80	1,36	32,75
FA # 5	757,52	0,43	40,53	753,15	0,99	30,53	753,02	0,41	30,21
SOL 5	804,68	2,61	45,09	799,45	2,34	33,81	797,02	1,00	28,53
SOL # 5	848,90	1,85	37,72	846,13	1,18	32,06	840,07	1,24	19,61
LA 5 (880 Hz)	903,53	1,13	45,68	895,66	2,62	30,53	896,97	0,70	33,06
SI b 5	949,69	2,29	31,95	944,47	3,54	22,40	948,54	1,32	29,85
SI 5	1000,6 1	0,91	22,37	996,80	1,88	15,76	1001,8 5	0,33	24,52
DO 6	1065,4 3	2,34	31,03	1062,0 3	2,82	25,50	1065,9 0	1,05	31,79

Tabla 5.5. Frecuencias (Hz) escala cromática y cents afinación temperada
Sordinas straight: cobre, PVC, cartón fibra duro

	Straight Cartón fibra blando			Cup Cartón fibra duro			Cup cartón fibra blando		
	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents

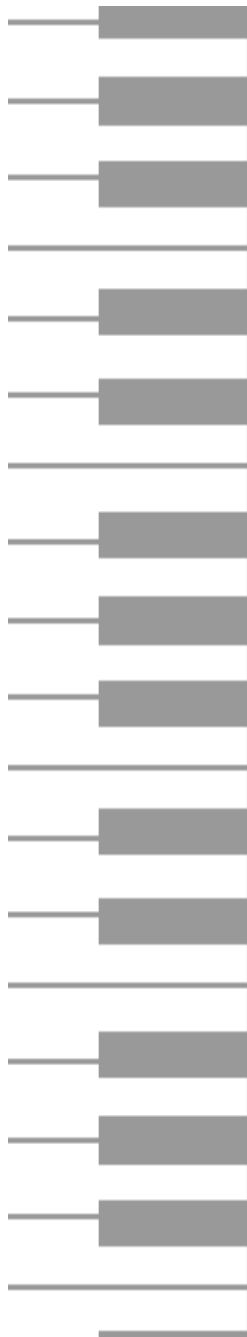


FA # 3	189,26	0,19	39,41	187,56	0,40	23,79	187,43	0,43	22,59
SOL 3	199,24	0,24	28,43	195,83	0,31	-1,48	196,10	0,15	0,90
SOL # 3	209,45	0,45	14,92	206,09	0,03	-13,07	205,36	1,80	-19,19
LA 3 (220 Hz)	221,66	0,17	12,99	221,33	0,22	10,41	218,94	0,58	-8,39
SI b 3	240,32	1,22	52,92	235,87	0,79	20,59	236,21	1,30	23,08
SI 3	251,87	1,29	34,23	247,58	0,73	4,49	248,34	1,33	9,75
DO 4	265,82	0,30	27,56	262,73	0,16	7,27	262,10	0,99	3,14
DO # 4	284,22	0,06	43,39	283,09	0,67	36,53	280,27	0,72	19,16
RE 4	296,49	0,11	16,58	295,53	1,52	10,98	294,28	0,76	3,64
MI b 4	315,61	0,93	24,75	312,64	1,23	8,40	309,99	0,07	-6,34

MI 4	335,92	0,12	32,72	330,49	1,10	4,54	330,36	0,92	3,84
FA 4	352,31	0,09	15,23	349,33	0,31	0,50	349,08	0,74	-0,72
FA # 4	373,25	0,38	15,15	369,39	0,40	-2,83	368,84	1,28	-5,39
SOL 4	396,14	0,61	18,22	391,40	0,98	-2,65	392,36	1,47	1,59
SOL # 4	418,90	1,02	14,91	414,85	0,75	-1,90	413,33	1,50	-8,27
LA 4 (440 Hz)	446,64	0,45	25,92	441,67	1,04	6,56	439,77	1,54	-0,91
SI b 4	472,01	0,76	21,59	463,74	0,50	-9,01	464,97	0,40	-4,44
SI 4	498,96	1,72	17,70	490,22	1,33	-12,90	491,15	0,97	-9,62
DO 5	527,76	0,52	14,87	520,56	1,37	-8,93	522,85	0,34	-1,34
DO # 5	559,22	0,40	15,08	553,73	1,00	-2,00	551,69	2,49	-8,36
RE 5	588,37	1,34	3,05	584,09	3,11	-9,58	582,41	1,36	-14,55
MI b 5	625,75	0,76	9,69	616,34	1,65	-16,53	615,37	2,34	-19,26
MI 5	665,11	0,59	15,31	654,39	1,74	-12,82	655,73	4,10	-9,29
FA 5	708,86	0,84	25,60	697,67	0,78	-1,95	696,55	0,40	-4,72
FA # 5	753,26	0,76	30,77	735,56	1,08	-10,38	738,09	6,36	-4,44
SOL 5	796,88	1,39	28,22	779,09	1,63	-10,86	782,28	1,15	-3,77
SOL # 5	841,60	1,97	22,76	825,98	3,52	-9,67	831,16	2,57	1,15
LA 5 (880 Hz)	891,84	1,35	23,14	884,76	4,78	9,34	890,36	1,55	20,26
SI b 5	941,68	1,74	17,29	932,33	2,32	0,01	934,35	0,09	3,76
SI 5	1001,7 2	1,21	24,28	985,66	3,03	-3,70	991,49	1,31	6,51
DO 6	189,26	0,19	39,41	1048,0 5	7,63	2,56	1051,1 7	1,00	7,70

Tabla 5.6. Frecuencias (Hz) escala cromática y cents afinación temperada
Sordinas straight: cartón fibra blando; sordinas cup: cartón fibra duro y blando

	Cup PVC			Cup Aluminio negro			Cup Aluminio		
	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents

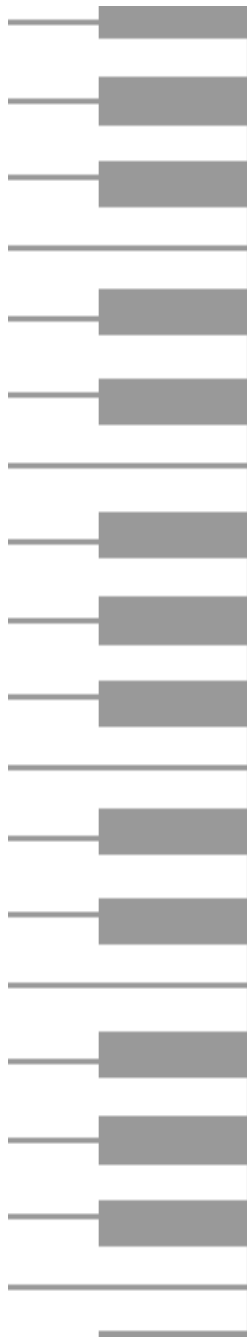


FA # 3	187,53	0,05	23,57	188,85	0,12	35,72	186,91	0,85	17,84
SOL 3	195,45	0,53	-4,82	194,97	2,57	-9,10	197,64	0,85	14,45
SOL # 3	205,78	0,48	-15,71	205,67	0,35	-16,58	206,54	1,63	-9,27
LA 3 (220 Hz)	224,74	2,64	36,90	222,07	0,10	16,19	220,10	1,40	0,81
SI b 3	234,49	1,00	10,43	234,45	0,53	10,16	234,28	0,47	8,88
SI 3	247,68	0,47	5,19	248,24	0,81	9,10	251,52	1,51	31,80
DO 4	261,45	1,10	-1,16	262,17	0,86	3,62	262,77	2,19	7,53
DO # 4	283,42	1,37	38,53	282,17	0,66	30,87	283,54	0,33	39,24
RE 4	295,75	0,55	12,27	295,72	0,71	12,05	295,27	1,60	9,42
MI b 4	311,46	0,73	1,87	312,44	0,67	7,26	312,23	3,47	6,15

MI 4	332,06	0,88	12,73	331,61	0,46	10,38	331,46	1,68	9,61
FA 4	350,03	0,29	3,97	349,84	0,12	3,05	348,90	0,29	-1,61
FA # 4	366,70	4,39	-15,47	369,23	1,66	-3,56	369,56	2,40	-2,03
SOL 4	392,27	0,72	1,21	390,43	1,90	-6,93	390,58	0,65	-6,25
SOL # 4	414,38	0,65	-3,86	414,22	0,69	-4,51	413,98	0,31	-5,54
LA 4 (440 Hz)	444,00	1,48	15,67	443,92	1,40	15,34	441,58	1,54	6,19
SI b 4	466,60	1,88	1,63	467,79	1,06	6,03	465,95	1,36	-0,78
SI 4	494,15	0,47	0,93	493,93	1,02	0,15	492,76	0,82	-3,94
DO 5	522,15	1,09	-3,66	522,73	0,95	-1,71	523,91	1,15	2,18
DO # 5	550,79	1,17	-11,21	554,35	0,35	-0,05	554,96	1,50	1,86
RE 5	584,90	1,00	-7,19	587,72	0,66	1,14	585,18	1,76	-6,36
MI b 5	618,12	1,84	-11,55	620,47	0,37	-4,96	619,84	0,97	-6,72
MI 5	656,88	0,93	-6,25	658,88	0,36	-0,99	660,03	2,39	2,03
FA 5	702,98	2,77	11,18	704,60	2,37	15,17	702,44	2,37	9,85
FA # 5	747,89	1,70	18,39	750,63	3,51	24,73	740,73	2,51	1,73
SOL 5	794,27	2,35	22,54	791,47	2,41	16,44	784,95	4,20	2,12
SOL # 5	840,15	1,82	19,77	839,89	1,01	19,23	834,49	1,69	8,08
LA 5 (880 Hz)	889,66	1,00	18,90	891,60	1,03	22,67	891,27	4,70	22,04
SI b 5	938,64	3,31	11,68	934,25	4,10	3,57	943,24	3,80	20,15
SI 5	999,17	3,37	19,87	967,29	5,23	-36,26	997,14	1,01	16,35
DO 6	1057,00	3,65	17,28	1049,20	0,25	4,46	186,91	0,85	17,84

*Tabla 5.7. Frecuencias (Hz) escala cromática y cents afinación temperada
Sordinas cup: PVC, aluminio negro, aluminio*

	Harmon Aluminio			Harmon Cobre			Harmon Aluminio rojo		
	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents	f (Hz)	DE	cents



FA # 3	184,24	0,13	-7,07	188,87	0,11	35,90	188,43	0,39	31,83
SOL 3	195,08	0,99	-8,15	197,54	0,63	13,57	197,77	1,62	15,58
SOL # 3	205,28	0,88	-19,89	207,14	0,26	-4,30	206,56	1,55	-9,16
LA 3 (220 Hz)	219,25	1,43	-5,94	221,23	1,26	9,65	220,24	0,73	1,86
SI b 3	232,70	1,23	-2,86	236,70	0,50	26,67	235,43	0,81	17,35
SI 3	251,65	2,74	32,72	250,32	2,17	23,50	249,38	2,36	17,01
DO 4	264,25	1,07	17,28	266,06	0,75	29,12	266,83	2,70	34,12
DO # 4	281,11	3,99	24,36	283,10	1,59	36,59	283,60	0,42	39,65
RE 4	297,76	1,51	23,96	297,67	0,67	23,45	297,05	1,31	19,82
MI b 4	309,76	3,46	-7,62	311,38	0,71	1,41	312,01	0,80	4,91

MI 4	332,38	0,98	14,40	333,17	1,31	18,49	334,60	0,95	25,90
FA 4	349,72	2,35	2,45	357,70	1,09	41,48	351,48	0,49	11,14
FA # 4	371,44	1,46	6,75	374,08	1,92	19,00	371,33	3,06	6,25
SOL 4	394,46	2,69	10,85	395,00	0,65	13,20	394,65	1,29	11,68
SOL # 4	416,73	1,69	5,92	414,47	1,40	-3,48	418,25	0,98	12,25
LA 4 (440 Hz)	442,29	2,45	9,00	442,83	0,29	11,11	445,61	0,72	21,92
SI b 4	462,60	6,92	-13,30	469,52	0,74	12,42	471,79	1,42	20,76
SI 4	498,80	0,81	17,14	496,97	2,01	10,80	498,21	2,26	15,09
DO 5	527,78	1,68	14,93	526,12	2,55	9,46	529,05	1,26	19,07
DO # 5	556,44	0,15	6,46	557,51	1,84	9,79	557,24	1,95	8,96
RE 5	590,07	0,90	8,06	590,67	1,70	9,83	585,50	1,53	-5,40
MI b 5	623,61	3,11	3,77	622,97	1,42	1,98	621,31	1,71	-2,63
MI 5	665,09	2,46	15,26	662,27	2,11	7,91	661,16	2,31	5,00
FA 5	708,94	4,10	25,79	708,38	1,68	24,43	709,27	2,39	26,60
FA # 5	751,80	6,80	27,42	749,78	3,66	22,76	748,69	4,78	20,24
SOL 5	799,97	2,31	34,92	794,60	3,38	23,26	794,86	6,40	23,84
SOL # 5	844,14	2,98	27,97	836,84	6,49	12,94	834,75	8,29	8,61
LA 5 (880 Hz)	887,20	2,14	14,10	889,63	3,70	18,84	885,57	8,35	10,93
SI b 5	937,95	1,82	10,40	942,69	4,61	19,13	934,39	5,15	3,83
SI 5	998,25	3,24	18,28	997,03	1,29	16,17	991,00	3,74	5,65
DO 6	1052,4 5	2,37	9,81	1054,9 0	2,53	13,84	1042,3 1	3,04	-6,95

*Tabla 5.8. Frecuencias (Hz) escala cromática y cents afinación temperada
Sordinas harmon: aluminio, cobre, aluminio rojo*

5.5. RESULTADOS OBTENIDOS

Tras el análisis de los datos, se muestran los datos obtenidos para cada una de las dos características estudiadas: espectro armónico y afinación sonora.

5.1. Espectro armónico

En primer lugar se muestran los espectros armónicos obtenidos por el programa Adobe® Audition® CS6, representados de forma lineal, con el fin de poder compararlos entre sí. En la figura 5.16 se muestran los resultados obtenidos para las sordinas tipo *straight*. En ellas se aprecia que el espectro sonoro con mayor riqueza armónica en el registro agudo se consigue con las sordinas de aluminio y de cobre que, por tanto, sonarán con más brillo que el resto. Las sordinas de aluminio con base de latón y base de cobre también ofrecen un espectro armónico rico, aunque su sonido resulta menos brillante que las dos anteriores.

Resulta destacable la respuesta armónica de la sordina fabricada en PVC, ya que muestra un espectro tal vez demasiado brillante, lo que la coloca en una posición demasiado estridente en cuanto a calidad sonora. Las sordinas de cartón fibra dura y blanda muestran espectros menos brillantes, por tanto propicias para pasajes que requieran una atmósfera de mayor intimidad.

En la figura 5.17 se muestran las envolventes de los espectros armónicos de las sordinas tipo *straight*. En ella se puede apreciar como las sordinas de cobre y de PVC muestran los valores más altos, frente a las de cartón fibra, que muestran los valores de menor intensidad relativa. Todas las envolventes siguen una tendencia similar en cuanto a forma, presentando una ligera depresión en torno a los 880 Hz. Alrededor de los 1.500 Hz se presenta un pico de intensidad, y en torno a los 1.800 Hz vuelve a producirse una depresión sonora. Entre los 3.000 y los 4.000 Hz las sordinas presentan un máximo, a modo de meseta sonora, que finaliza con un gran descenso hacia los 4.000 Hz. Todos estos valles y crestas confieren el timbre especial de las sordinas tipo *straight*.

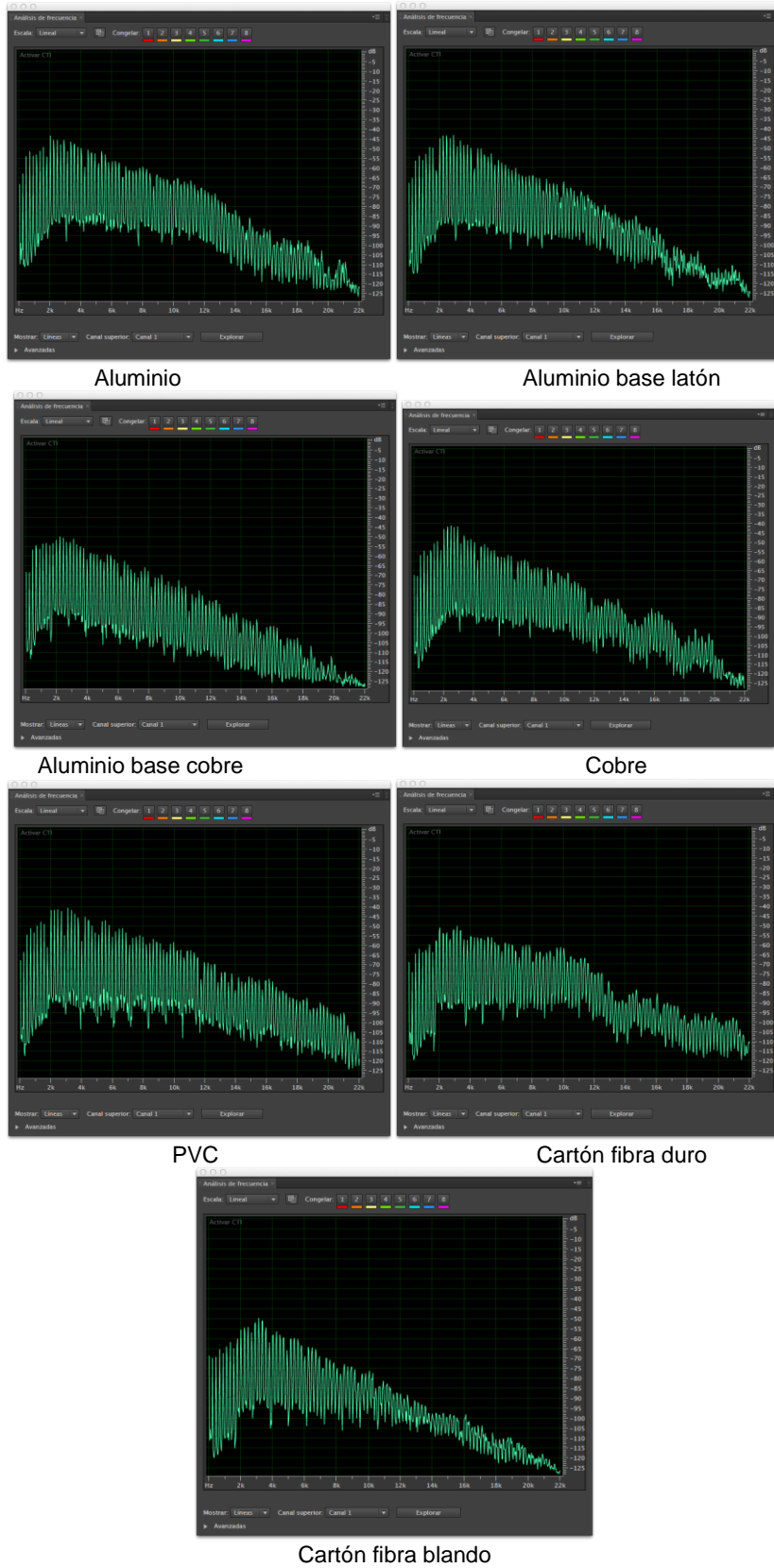


Figura 5.16. Espectros armónicos sordinas straight

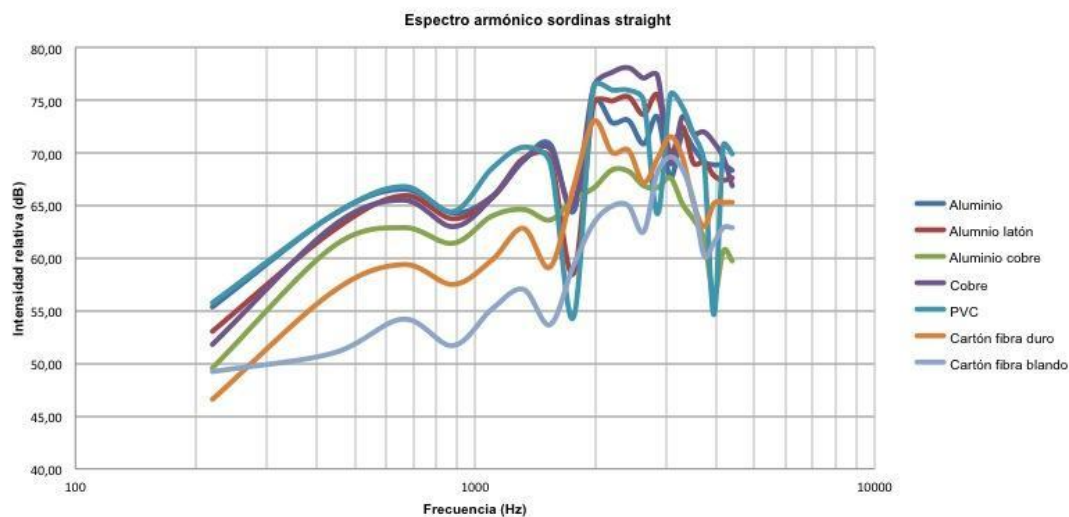
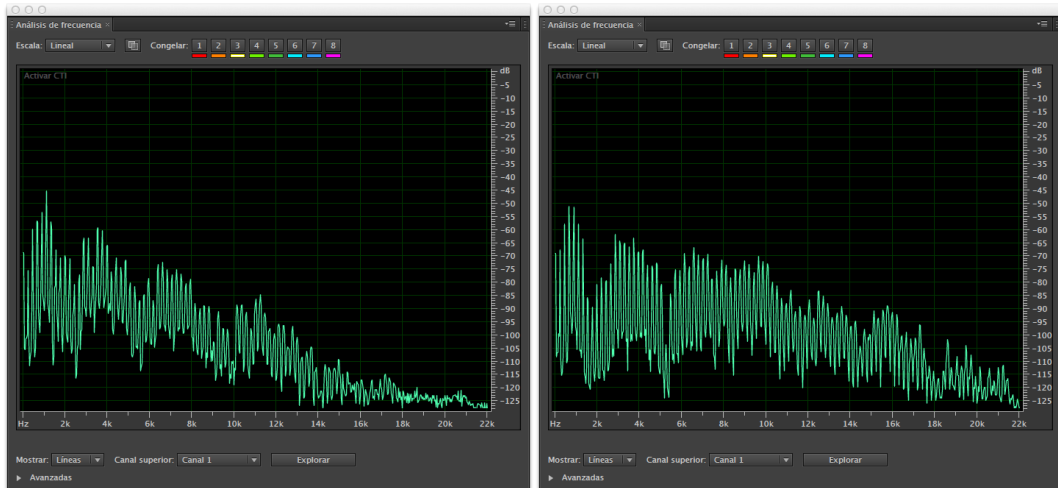


Figura 5.17. Envolventes del espectro armónico sordinas straight

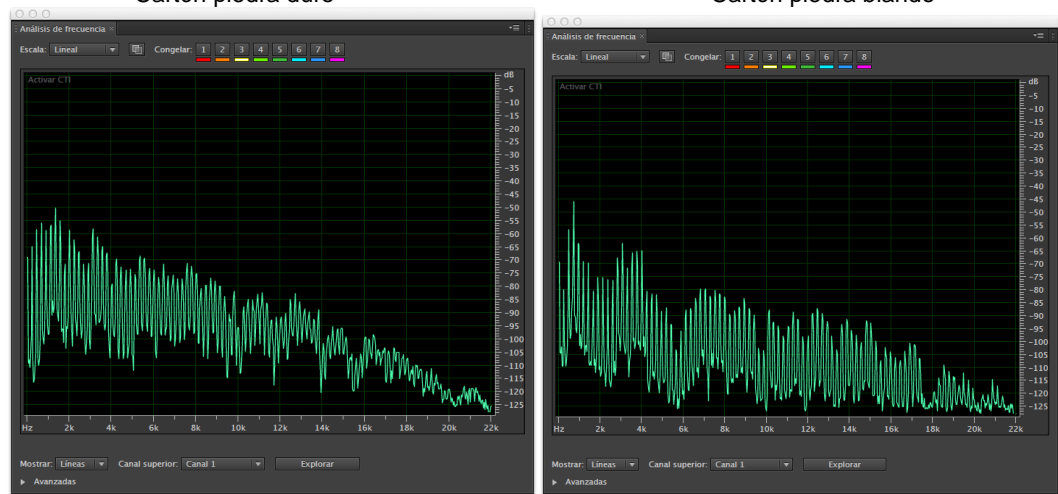
Para las sordinas tipo *cup* se aprecia una tendencia similar a las tipo *straight* en las gráficas obtenidas. En la figura 5.18 se muestran los espectros armónicos y en la figura 5.19 las envolventes de los correspondientes espectros armónicos. En los espectros se observa que las sordinas tipo *cup* más timbradas son la de aluminio con el lacado negro y la de cartón fibra blando, ambas presentan una riqueza armónica superior al resto. De cerca le sigue la de aluminio. Las dos que presentan peores resultados son la de cartón fibra duro y la de PVC, lo que les va a conferir un timbre más oscuro. Con estos resultados el intérprete elegirá aquella sordina que mejor se adecue al estilo musical que vaya a interpretar. De ese modo si requiere un sonido más brillante o penetrante empleará un determinado material, y si requiere un sonido más oscuro elegirá las sordinas menos brillantes.

De todos modos, suelen ser las sordinas que presentan una mayor riqueza armónica las que mejor respuesta ofrecen para todas las situaciones, pues pueden comportarse de forma brillante cuando se desea o bien por su versatilidad también permiten obtener un sonido más íntimo.



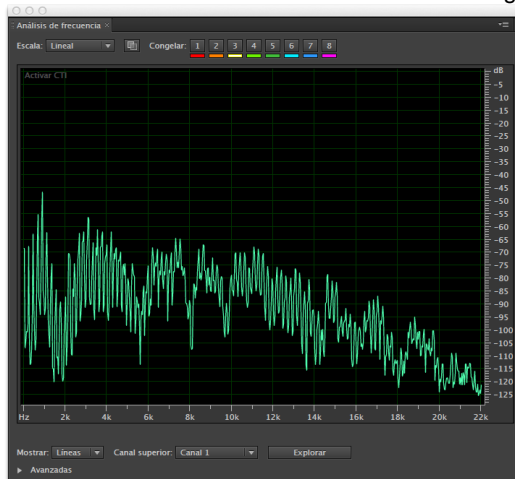
Cartón piedra duro

Cartón piedra blando



PVC

Aluminio negro



Aluminio

Figura 5.18. Espectros armónicos sordinas cup

En la figura 5.19 también se observa una similitud en las envolventes de las cinco diferentes sordinas tipo *cup*, pero con un desplazamiento en el pico de intensidad relativa que oscila entre los 650 Hz para la sordina de aluminio negro y los 1.200 Hz de la sordina PVC. Este desplazamiento confiere un timbre diferenciado para cada una de las sordinas. Asimismo para todas ellas se aprecia un fuerte depresión en torno a los 1.500-2.000 Hz.

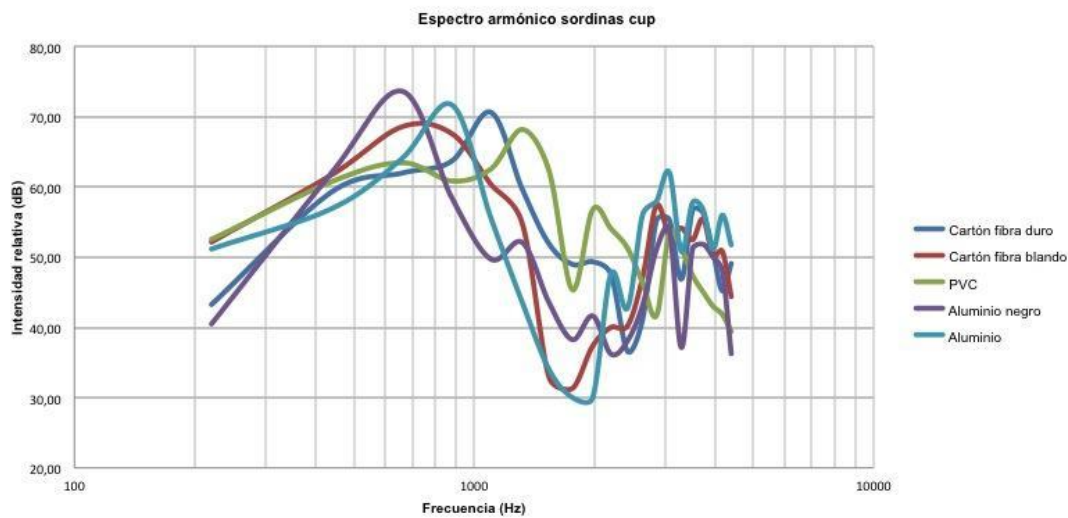
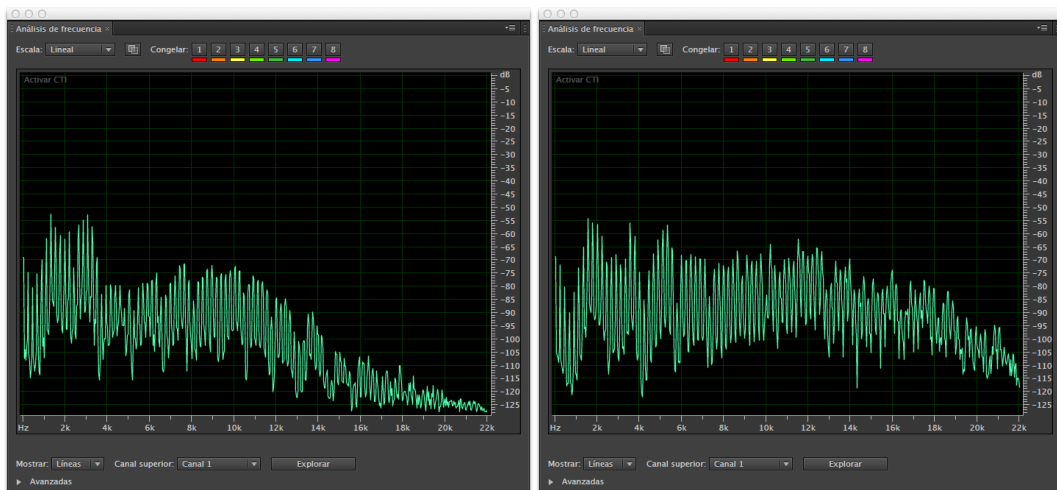


Figura 5.19. Envloventes del espectro armónico sordinas *cup*

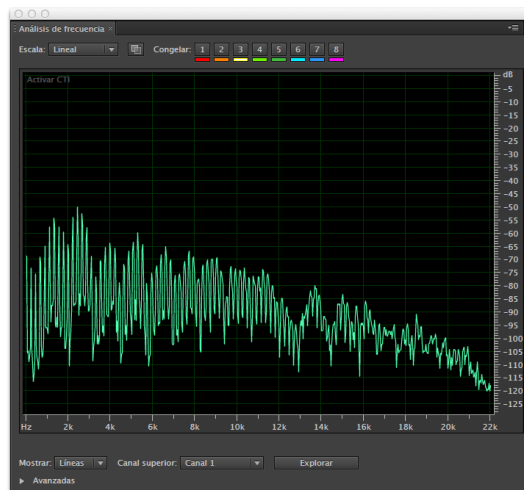
Para las sordinas tipo *harmon* los espectros armónicos obtenidos se muestran en la figura 5.20. Se aprecia que para este tipo de sordina la fabricada con cobre es la más timbrada. Las dos sordinas de aluminio presentan una respuesta similar entre ellas.

Entre las dos sordinas de aluminio, cabe destacar la mejor definición en la forma del espectro sonoro de la sordina confeccionada con aluminio de lacado rojo. Así, aunque las tres sordinas presentan la forma de la envolvente característica de estas sordinas, es esta última, de aluminio rojo la que llega a definirse mejor como sordina *harmon*.



Aluminio

Cobre



Aluminio rojo

Figura 5.20. Espectros armónicos sordinas harmon

En cuanto a la figura 5.21 que muestra la envolvente de cada una de las tres sordinas *harmon* estudiadas, se observa que también es la fabricada con cobre la que presenta una envolvente más marcada, lo que le confiere un timbre más singular frente a las otras dos de aluminio.

Mientras las dos sordinas de aluminio presentan una depresión en torno a los 450 Hz, la de cobre lo hace en torno a los 650 Hz. Todas ellas presentan picos de intensidad alrededor de los 1.500 Hz. A partir de esa frecuencia van a presentarse máximos de amplitud entre los 2.000 y los 3.000 Hz, destacando entre las tres la confeccionada con aluminio lacada en rojo, que presenta un pico muy acentuado entre esas frecuencias.

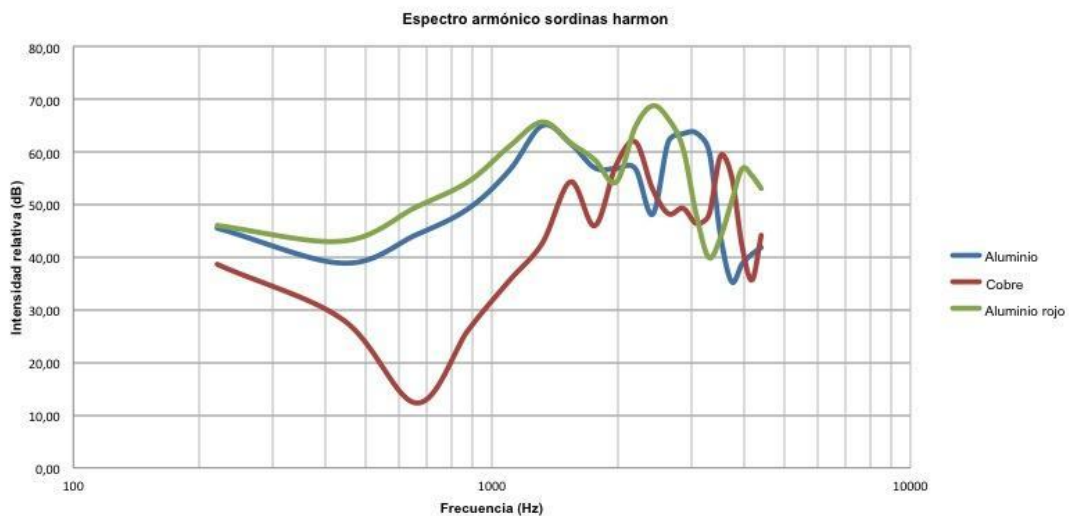


Figura 5.21. Envoltentes del espectro armónico sordinas harmon

5.5.2. Afinación

Para el estudio de la afinación se ha calculado la desviación en cents del promedio de cada una de las notas emitidas de la escala cromática con respecto a la afinación temperada, considerando el LA4 = 440 Hz. Si bien es cierto que el intérprete afinó su trompeta en torno a los 442 Hz, lo que debe ser considerado en la corrección global de todas las gráficas que aparecen. También cabe recordar que los valores óptimos de afinación no deberían superar los 20 cents superiores o inferiores.

En las figuras 5.22 a 5.24 se muestran las desviaciones en cents de la escala cromática desde fa#3 a do6 para las sordinas tipo *straight*, *cup* y *harmon* respectivamente. Estos resultados deben considerarse teniendo en cuenta la variabilidad que introduce el intérprete, si bien es cierto que todas las notas han sido repetidas tres veces y promediadas para su cálculo y estudio con el fin de minimizar esta dependencia.

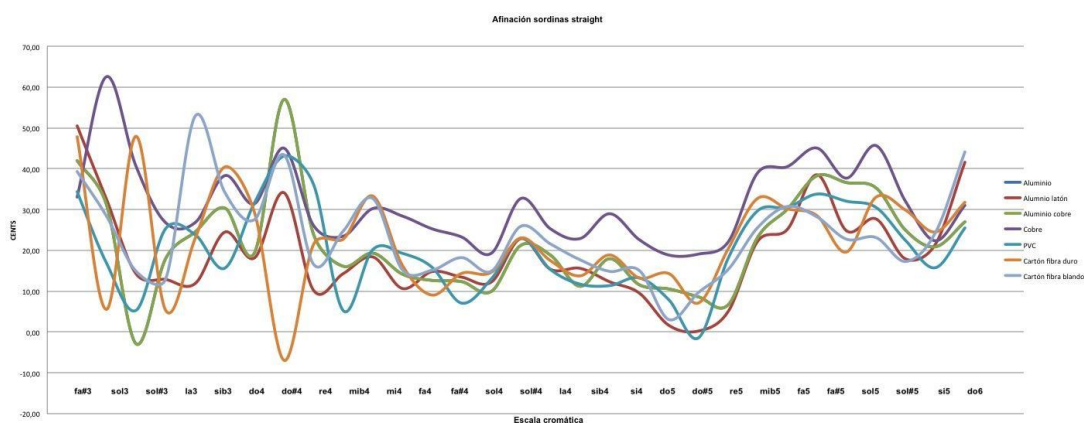


Figura 5.22. Afinación sordinas straight escala cromática

En la figura 5.22 se aprecia que la variabilidad en la afinación en las sordinas tipo *straight* es mayor para los registros grave y agudo que para el registro medio. De este modo, en el registro medio la afinación conserva cierta estabilidad. Para el registro agudo, debido a un efecto lógico de interpretación de notas que requieren una mayor presión aérea, la afinación tiende a quedarse alta, es decir, a ser superior a la de referencia. En el registro grave no se aprecia una uniformidad entre sordinas que pueda llevar a formular conclusiones globales para este registro.

Para las sordinas tipo *cup* (figura 5.23), el resultado obtenido es similar al de las tipo *straight*. En la zona del registro medio o central existe una mayor estabilidad en la afinación de las notas, frente al registro agudo que presenta un aumento en la afinación debido a la presión sonora que hay que ejercer

para poder interpretar notas de este registro. Nuevamente para el registro grave la inestabilidad en la afinación no hace posible llegar a conclusiones globales para este registro.

En cuanto al descenso en la afinación que se produce en la sordina fabricada en aluminio lacado en negro para la nota si5, creemos que se produce debido al cansancio que se detectó en esta fase del experimento en la cámara anecoica mientras se grababa. Fue durante la última sesión y el intérprete se encontraba muy fatigado y no se pudo repetir esta nota.

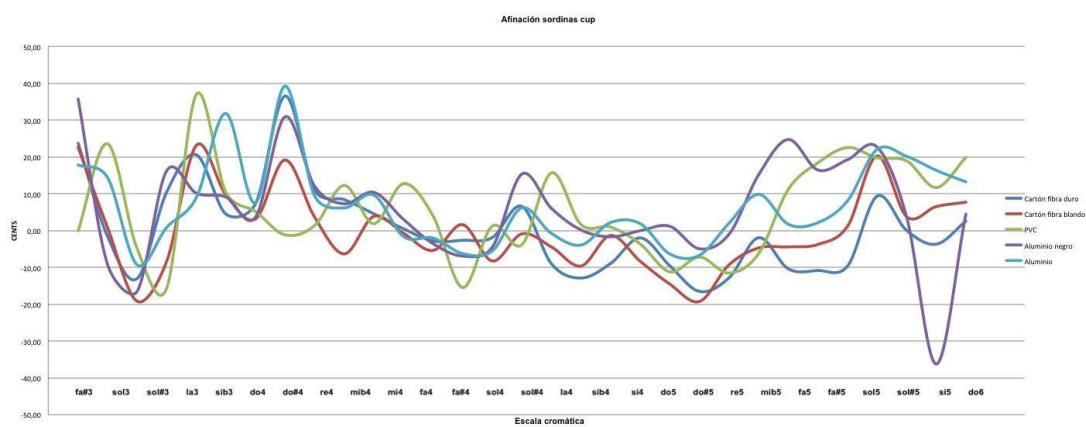


Figura 5.23. Afinación sordinas cup escala cromática

En cuanto a las sordinas tipo *harmon* (figura 5.24), aun mantenido cierta estabilidad en la afinación para el registro medio, se observa una mejor estabilidad para las notas del registro agudo que en las anteriores sordinas. Este tipo de sordinas presentan una mejor respuesta a la afinación que las de tipo *straight* y *cup* en los registros grave y agudo, aunque ofrece peores resultados para el registro medio.

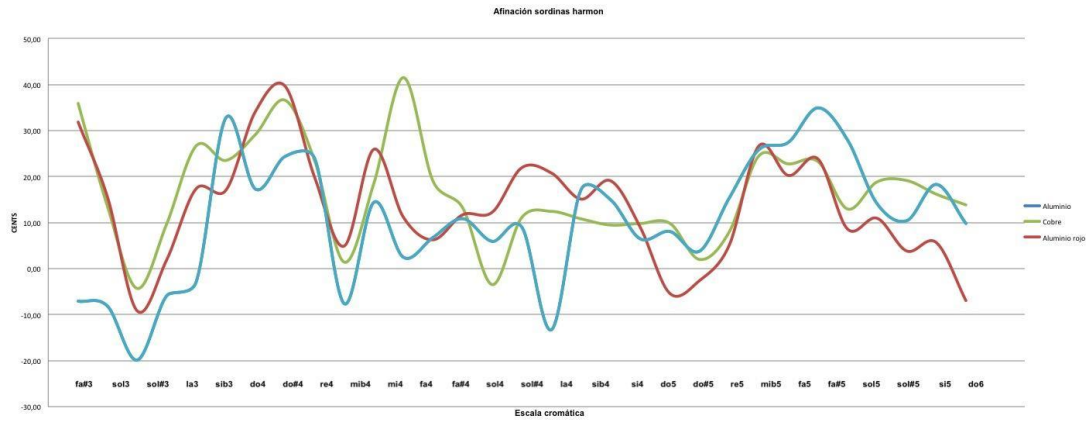


Figura 5.24. Afinación sordinas harmon escala cromática

De todos los tipos de sordinas estudiados son las de tipo *straight* las que presentan una mejor respuesta en afinación, con una menor variabilidad en cuanto al tipo de material empleado. Las sordinas *cup* y *harmon* ofrecen una mayor variabilidad en la dependencia del tipo de material empleado. De todos los materiales, es el cobre el que destaca sus diferencias sobre el resto de materiales empleados en cuanto a afinación.

Capítulo 6

La investigación de campo. La praxis musical interpretativa

6.1. ESTUDIO Y PRÁCTICA DE LA TROMPETA

La música; este es el fin último del instrumentista, pero el camino que presenta ofrece una serie de dificultades relacionadas con las características físicas del instrumento que deberán ser superadas. Sólo un trabajo sistemático permitirá aproximarse al fin deseado. Sin embargo, alcanzar la excelencia no está al alcance de todos, y el buen resultado alcanzado un día no asegura poderlo lograr siempre.

Esta excelencia interpretativa es, en realidad, una suerte de ideal estético, inmaterial, que un nada puede hacer retroceder, alejar e inclusive escapar y desaparecer completamente cuando el trabajo decrece. El camino a este ideal exige al instrumentista empeñarse en un trabajo titánico y minucioso, indispensable para el incesante y progresivo perfeccionamiento de su maestría.

En el caso de los trompetistas, la mayor parte de este trabajo está consagrado a la restauración de su embocadura débil y caprichosa que le plantea un problema y un cuidado cotidiano. Día tras día, cada instrumentista se plantea

las mismas preguntas: ¿por dónde voy a comenzar? ¿cómo organizar mi trabajo hoy? ¿qué ejercicios hacer? ¿qué método emplear? ¿qué mejora aportará tal o cual ejercicio a mi técnica? ¿qué resultados obtendré de este trabajo que haré? No existe una respuesta efectiva a estas preguntas, ni en la literatura metodológica ni en los manuales pedagógicos, ni en las colecciones de ejercicios o estudios. La razón de esto puede ser que el proceso de desarrollo de la técnica instrumental es un fenómeno profundamente personal ligado a la psicología de cada individuo, a sus aptitudes innatas de instrumentista, a sus condiciones físicas de trompetista que la naturaleza le ha brindado.

No podemos considerar los ejercicios que constituyen el trabajo cotidiano y personal del trompetista como algo estándar aplicable en cualquier momento ni mucho menos a cualquier ejecutante. Este sistema debe ser un proceso creador particularizado destinado a desarrollar la capacidad de cada individuo. Las capacidades en la ejecución del instrumento varían de un individuo a otro.

En consecuencia, es evidente que un mismo ejercicio no dará los mismos resultados a dos trompetistas con cualidades físicas diferentes. Consideremos, por ejemplo, que un trompetista tiene labios débiles, pero con una buena flexibilidad técnica, mientras que otro posee labios fuertes dotados de una gran resistencia, pero con una flexibilidad mediocre. Entonces encontramos a uno con los labios fatigados y al otro con los labios reposados. Uno y otro no pueden trabajar la trompeta de forma análoga.

En los músicos que ejecutan instrumentos de viento-metal, la técnica depende de la coordinación de los músculos de los labios, la lengua, el aparato respiratorio y los dedos. Tocar un instrumento de viento-metal requiere gran esfuerzo y cierta tensión, especialmente cuando se interpretan notas fuertes o notas agudas.

Para alcanzar las notas agudas, así como para obtener un buen tono, hace falta saber controlar los labios. Es bastante normal intentar alcanzar un sonido

armónico en particular y errar o rasgar una nota. La práctica constante ayuda a fortalecer los músculos labiales. Los músicos de vientos-metal también deben hacer con regularidad ejercicios de respiración que ayuden a desarrollar el diafragma.

Los primeros intentos de los principiantes pueden hacer que su futuro aprendizaje instrumental sea un calvario o una aventura exaltadora. A pesar de los progresos evidentes de la didáctica musical y de la técnica espectacular que alcanzan hoy en día numerosos instrumentistas de metal, las primeras lecciones de iniciación en el contacto de la boquilla y del instrumento, independientemente del talento potencial de los candidatos, constituyen una etapa clave en la enseñanza instrumental.

Pero todavía se deja demasiado a menudo este período de la vida tan delicado en manos de músicos, hombres o mujeres, inexperimentados, cuando se sabe hoy en día que precisamente en esa fase tendrían que intervenir profesores muy bien formados. Siguen produciéndose todavía demasiados estragos, a veces irreversibles a ese nivel.

Lo esencial es crear un clima apacible, de confianza, para que el principiante se sienta a gusto intentando hacer, sin crispación, los pequeños ejercicios de la iniciación que se le van a proponer en forma de juego. También se puede si es necesario, explicar la importancia de esos pequeños ejercicios preliminares en relación con la práctica segura.

1) Juegos del aire, de respiración y de la vibración de los labios (*buzz*).

- Juegos múltiples con aire: toser, soplar en el dedo, soplar caliente, soplar frío, lentamente, rápidamente, entrecortado, etc., inspirar lentamente, rápidamente, entrecortado, etc.
- Intentos de puesta en vibración de los labios solos (*buzz*). Juegos para el mantenimiento del equilibrio entre el aire, soplar suave, soplar fuerte, soplar progresivamente menos fuerte, y la resistencia de los labios, más o menos tensos, más o menos mojados.

Experimentarlo hasta que el *buzz* o zumbido pueda ser mantenido unos segundos o estabilizado durante toda la duración de la respiración.

Una de las reglas esenciales de esta didáctica de iniciación se sitúa en el concepto del “hasta que”. No es constructivo pasar a una fase más compleja hasta que no se haya logrado la presente. Los problemas no harían más que acumularse.

2) Juegos de coger el aire, del *buzz* o zumbido a la boquilla.

Ya se puede intentar que comprendan la articulación del paso de la boca a la boquilla con el aire solo, sin buscar el *buzz*. Luego, cuando el *buzz* con los labios solos está bastante estabilizado, hay que pedir al alumno que intente cogerlo con la boquilla, cerrando los ojos para concentrarse más. Lo mejor, como decía James Stamp, es sujetar la boquilla entre el pulgar y el índice de la mano izquierda, para los que se sirven de la mano derecha, y llevar el borde muy delicadamente a los labios en vibración, *buzz*, en el lugar ideal, sin que se pare el *buzz* (Stamp, 1978). Evitar toda la precipitación durante esas pruebas determinantes.

Recordar siempre que esta práctica se basa en la adquisición de una técnica, de una sensación y que hay que preservar el hasta que. Esos juegos de iniciación pueden, y si es necesario deben, durar el tiempo que haga falta, una semana o más, el maestro es el que tiene que controlar y ser paciente. Lo principal es explicar por qué es tan importante controlar bien esta primera etapa y hacer las demostraciones adecuadas para que el alumno sepa exactamente de qué se trata.

Nadie puede hacer lo imposible. Existen casos naturalmente de incompatibilidad, déficit del oído, problemas de dentición juvenil, etc., en los que conviene diferir la experiencia a un período ulterior, o aconsejar al candidato que elija un instrumento más apropiado, incluso un campo artístico totalmente distinto.

Si el alumno es muy joven no es necesario hablar mucho. Basta con encaminar el placer de la práctica musical y hacer resaltar con convicción los recursos del instrumento elegido. En esa fase, la mejor didáctica es la imitación. Se debe proponer una demostración de unas notas tocadas con la boquilla sola en el registro medio y luego proponer la imitación. Intercambiando sin palabras. El alumno escucha e intenta reproducir lo que ha oído. Luego intentar hacer lo mismo con el *buzz* de los labios solos por secuencias muy breves. Al principio, evitar absolutamente que el alumno se meta en el atolladero del grave. Un do grave en una trompeta en si bemol es una nota muy abierta que provoca una dilatación de la embocadura. Si se va por ese camino, el acceso a los registros más agudos resultará difícil. En ese momento preciso es cuando se comete el error más frecuente con los principiantes. El grave debe salir con la misma embocadura que para el agudo, simplemente un poco más relajado.

Si conviene presentar las primeras lecciones instrumentales como un juego, no hay que tardar en enseñar los mecanismos que permiten controlar lo causal. Los primeros intentos de emisión son a menudo aleatorios, se trata de desplegar todas las mañas para que labios y boquilla se adapten con soltura en el sitio adecuado. Lo importante del *buzz* es fundamental en esa fase, y ya se puede poner en marcha la autodisciplina para que el alumno aprenda desde el principio a escucharse atentamente y pueda descubrir por sí mismo las etapas del progreso que alcanza mediante el estudio repetitivo.

El entrenamiento regular permite al alumno automatizar, meter en su memoria profunda, los movimientos fundamentales de la producción del sonido, evaluar los progresos de la calidad de su sonoridad y luego afrontar progresivamente nuevas dificultades. En efecto, el sonido es el mejor revelador de la exactitud de su técnica. El entrenamiento le permite –siempre y cuando se ha comprendido y adquirido el procedimiento de emisión correcta– reproducir lo que va tocando cada vez con más seguridad y dominio. En caso de emisión defectuosa, mal entendida, atrancada o forzada, el principiante sigue siempre

en la inseguridad, no se da bien cuenta de sus progresos y sólo desarrolla sus defectos.

Por tanto, es esencial que el maestro proponga una literatura de aprendizaje muy progresiva, que adapte bien el trabajo a los recursos del alumno y que establezca una planificación simple que comprenda una preparación cotidiana, toma de conciencia de sí mismo, facultad para autoanalizarse, una fase de estabilización de lo adquirido y una fase progresiva. La calidad del programa que se carga en el cerebro de un alumno es primordial... Quitar un programa malo y reemplazarlo por otro bueno lleva a veces varios años.

6.2. APLICACIONES DIDÁCTICAS EN LA PRAXIS MUSICAL INTERPRETATIVA DE LAS DIFERENTES BOQUILLAS

En este apartado se estudia la influencia de los materiales de las boquillas de trompeta para su aplicación didáctica y para el estudio técnico y estilístico de la praxis musical. Las experiencias se han realizado con alumnos del Conservatorio Superior de Música “Salvador Seguí” de Castellón, en concreto con estudiantes de tercer curso, penúltimo curso antes de egresar al mundo profesional. De entre ellos, se eligieron los dos que más facultades interpretativas presentan, sobre todo su seguridad en la embocadura, emisión, resistencia y técnica, además de su capacidad y fineza interpretativas. Esto garantizaba una respuesta fiable a las diversas propuestas.

Con el fin de estudiar la influencia de las boquillas de diferentes materiales se han realizado diversas experiencias. En un principio, la experiencia se llevó a cabo con algunas incertidumbres, ya que los estudiantes no suelen trabajar con boquillas hechas de estos materiales, poco conocidas por los fabricantes.

6.2.1. Primera experiencia: ataque, *legato* y calidad de sonido

La primera experiencia se centra en el ataque, el *legato* y la calidad sonora. Para realizarla se ha empleado el primer tiempo del Concierto para trompeta en Mi b Mayor de Franz Joseph Haydn, en concreto los ocho primeros compases de la introducción para la trompeta. Los dos alumnos que han formado parte de esta experiencia han tocado siempre con boquilla de latón y, por consiguiente, es la boquilla con la que están habituados a tocar, por lo que los resultados y valoraciones respecto de cada boquilla no están condicionados por ninguna experiencia previa.

Boquilla PVC

Alumno 1: buena sensación entre registros, pero no obtiene una buena calidad de sonido; por tanto, problemas en la calidad sonora y en el timbre.

Alumno 2: mejor calidad de sonido que el anterior, pero en la zona central desafina mucho más. Por tanto problemas en la afinación.

Boquilla nylon

Alumno 1: la parte grave no enlaza bien con la parte central del pasaje. Dificultad también en la afinación.

Alumno 2: muy bien en la parte grave, pero muy desafinada la parte central. El ataque es muy bueno.

Boquilla grafito

Alumno 1: la boquilla no le suena bien por la parte grave.

Alumno 2: con esta boquilla en los tres primeros ataques no saca buen sonido.

Boquilla de granadillo

Alumno 1: buena sonoridad, buen ataque, pero sin buena relación entre los sonidos de grave a central.

Alumno 2: mejor estabilidad entre registros que en anterior, buen ataque y buena sonoridad.

Boquilla de palo violeta

Alumno 1: muy bien en los ataques y una sonoridad perfecta, la que requiere el concierto.

Alumno 2: muy bien el ataque, muy bien el sonido, pero falta consistencia en el *fiato*.

Boquilla de olivo

Alumno 1: la más inestable de todas. Mal sonido, mal ataque y muy desafinada. El picado en el grave no sale bien.

Alumno 2: una mejor sensación, pero él la percibe como la peor de todas. Hace cometer errores en las notas graves.

Boquilla de latón

Alumno 1: mejor calidad de sonido y mejor equilibrio de las notas y afinación; probablemente la mejor de todas en esta prueba.

Alumno 2: también le saca muy buen sonido, y tiene muy equilibrados los pasos de notas entre registros.

Conclusión:

Se constata que la boquilla que para los alumnos obtiene una mayor estabilidad y calidad de sonido es la de latón, si bien es cierto que con la boquilla de palo violeta y con la de granadillo se obtiene un mejor ataque y equilibrio, pero con ellas no se consigue la calidad sonora que ofrece la de latón. A la boquilla de nylon y la de PVC les falta calidad y consistencia en el sonido, pero tienen un buen ataque. La boquilla de grafito consigue buenos resultados tanto en el ataque como en el sonido. Para las boquillas de madera la sensación de apoyo en los labios es muy cálida, y se consigue una mayor salida del aire, con menos presión que la de latón, pero la de latón tiene más cantidad de armónicos y, por tanto mejor, calidad de sonido.

6.2.2. Segunda experiencia: *legato*

Para la segunda experiencia se ha escogido la introducción para la trompeta del segundo tiempo del concierto en Mi b Mayor de F. J. Haydn.

Boquilla de PVC

Alumno 1: *legato* bastante uniforme, pero la calidad del sonido no es buena.

Alumno 2: no está cómodo con la boquilla y, por tanto, saca menor calidad de sonido y el equilibrio entre notas no está centrado.

Boquilla de Nylon

Alumno 1: muy buen paso de notas, pero diferencias en el tono; no muy buena afinación.

Alumno 2: buen paso de notas, pero en las notas más agudas del pasaje no le suena con calidad; mayor inestabilidad general con esta boquilla.

Boquilla de grafito

Alumno 1: no tiene suficiente flexibilidad entre los pasos de las notas; se obtiene buen sonido, pero no proyecta.

Alumno 2: no tiene buen ataque y está muy desafinado en las notas muy agudas.

Boquilla de granadillo

Alumno 1: no le suena como la boquilla de palo violeta; la calidad de sonido y el *legato* resultan de menor calidad.

Alumno 2: no tan cómodo como con la de palo violeta; le falta color al sonido, pero en cambio obtiene un buen *legato*.

Boquilla de palo violeta

Alumno 1: de momento, la mejor, muy bien el *legato* y la calidad de sonido.

Alumno 2: en la misma línea que el anterior alumno; se encuentra muy cómodo con esta boquilla.

Boquilla de olivo

Alumno 1: le suena mejor esta boquilla en el *legato* que la anterior experiencia, pero sigue sonando peor que en las demás. En el *legato* no se comporta igual que en el *staccato* y por tanto la calidad de sonido no es buena

Alumno 2: igual que el anterior alumno. No se siente cómodo usando esta boquilla. El alumno nota que los pasos entre las notas no son cálidos y que la afinación no es muy consistente.

Boquilla de latón

Alumno 1: el alumno no consigue la calidad de sonido en el *legato* que se presumía con ese tipo de boquilla

Alumno 2: sonido estrecho y desafinado.

Conclusión

A diferencia de la experiencia anterior, en la que la boquilla de latón era la mejor, en este caso, la boquilla con la que los alumnos consiguen un mejor *legato* es la de palo violeta. Se sienten más cómodos, y eso influye en la calidad de sonido porque tiene un mejor paso de aire.

6.2.3. Tercera experiencia: *staccato*

En esta tercera experiencia se trabaja el picado-*staccato*. Para esta experiencia se escoge el primer fragmento del inicio del tercer tiempo del concierto para trompeta de F. J. Haydn, que se está analizando.

Boquilla de plástico

Alumno 1: el *staccato* le sale con retardo, así como la articulación; el sonido no es bueno.

Alumno 2: el *staccato* y la articulación no son de calidad y el sonido está falto de armónicos, es un sonido pequeño.

Boquilla de nylon

Alumno 1: en principio, la articulación y el *staccato* están mejor definidos que en la anterior boquilla y funciona más fluido, solo en los pianos no responde como esperábamos.

Alumno 2: se nota mejor con esta boquilla, incluso en los *pianos*; el *staccato* es fluido, pero la calidad del sonido no es muy rica en armónicos, por lo tanto, suena un poco demasiado estridente y arisca.

Boquilla de grafito

Alumno 1: el picado no está muy claro, y tampoco la articulación ya que no se siente cómodo en el registro medio.

Alumno 2: también le resulta demasiado tensa en las articulaciones; no está cómodo.

Boquilla de granadillo

Alumno 1: bastante bien, pero sin llegar a los resultados de la boquilla de palo violeta. No aguanta bien la consistencia del sonido en el *staccato* y en la articulación.

Alumno 2: el sonido que obtiene no es tan bueno como con la boquilla de palo violeta. Buena articulación, pero falta de consistencia en los *pianos*.

Boquilla de palo violeta

Alumno 1: muy buen equilibrio en el *staccato* y también en la articulación, manteniendo buenos niveles de calidad en el sonido y en la afinación.

Alumno 2: la boquilla le suena muy bien, incluso al hacer *pianos*. Articulación muy buena.

Boquilla de olivo

Alumno 1: no son buenos ni el *staccato*, ni la articulación ni la calidad del sonido.

Alumno 2: no le funciona bien ya que hace mucha fuerza. Ni el *staccato* ni la articulación son buenas.

Boquilla de latón

Alumno 1: con este material el alumno en el *staccato* no saca la claridad que saca con otros materiales, pero, en cambio, consigue muy buenos pianos.

Alumno 2: mejora su *staccato*, pero la calidad del sonido en el piano empeora porque no es nítida en su caso.

Conclusión

Las boquillas que mejor sensación consiguen en el *staccato* son las de madera y la de latón. Se aprecia más calidad en la articulación y en los pianos. Muy buena calidad sonora.

6.2.4. Cuarta experiencia: picado

La cuarta práctica se ha realizado con dos alumnos que tenían problemas con el picado. Nos basamos en unos ejercicios que usamos en nuestras rutinas diarias, en concreto el método de Dauverné. Primero tocaban con su boquilla original el ejercicio propuesto; posteriormente repetían el procedimiento, pero con la boquilla de granadillo; por último, otra vez con su boquilla original. El granadillo es la madera más común con la que se fabrican los instrumentos de viento-madera.

Al realizar este procedimiento se observa como el rendimiento mostrado por los alumnos en el picado tocando con la boquilla de granadillo es mayor. Las notas estaban más centradas y mejoraban la velocidad. De manera que, los alumnos gracias a esta nueva experiencia tienen un picado mejor y han mejorado mucha en esta articulación.

Cuando vimos que el estudio con boquillas de madera mejoraba nuestro picado, iniciamos nuevas prácticas pero con ejercicios diferentes. Estos abarcaban más extensión en el registro, son los ejercicios técnicos del método J. B. Arban que utilizamos diariamente: escalas, arpeggios, grupetos e intervalos (Arban, J. B., 1864).

Los dos alumnos previamente mencionados, siguiendo el mismo procedimiento anterior, han seguido progresando y obteniendo resultados que, según afirman, no tenían en mucho tiempo.

La cuarta práctica se ha realizado también con la boquilla de palo violeta, madera con la que se fabrican las láminas de las marimbas, más económica que la anterior de granadillo. Los resultados de los alumnos han sido incluso mejores por lo que respecta a la sonoridad, siendo esta más clara y potente.

Conclusión

La experiencia llevada a cabo con los alumnos ha sido muy favorable. Les ha ayudado a mejorar en problemas concretos para los cuales no encontraban solución. También ven que pueden mejorar mucho más. Por tanto, podemos decir que, gracias a esta experiencia, hemos podido avanzar en la solución de algunos problemas ya existentes abriendo así camino a la mejora.

En una segunda parte de esta experiencia, hemos llevado a la práctica estas experiencias del picado con los alumnos de repertorio orquestas. Para ello se propuso tocar el solo del Ballet *Petruska* del Igor Stravinsky. En concreto, el solo de la bailarina, muy demandado en los concursos para poder entrar a formar parte de una orquesta profesional.

Propusimos a dos alumnos con problemas de estilo en el picado y de flexibilidad que interpretaran el solo con boquillas de grafito y de nylon. Los resultados fueron muy positivos. A diferencia de las primeras prácticas, mencionada más arriba, los alumnos dejaban de lado su boquilla para tocar con la de nylon. Esta les ayudaba a solucionar sus pequeños problemas,

afrontando el solo con más garantías y obteniendo un mayor éxito en sus pruebas orquestales.

Así mismo, consideramos que estas prácticas podrían trasladarse a cursos elementales y medios, pudiendo así erradicar mucho antes los problemas. Es importante saber que dependiendo del material del que esté construida la boquilla puede haber más soluciones a la hora de resolver sus problemas y mejorar. Pensamos que estas prácticas y experiencias que hemos iniciado ayudarán a muchos profesionales a ser mejores y afrontar nuestro instrumento, la trompeta, con más afán e interés.

De las siete boquillas, hay tres que siempre coinciden en los niveles de sonoridad, articulación, *legato* y *staccato*. Las otras cuatro no consiguen buenos resultados, a pesar de funcionar bien en algunos pasajes. Por consiguiente, no hay una en especial, que sobresalga sobre las demás, pero si tuviera que escoger una, la más equilibrada desde el punto de vista de los resultados en las tres experiencias, la más regular es la de palo violeta, pues tiene calidad de sonido, *staccato*, *legato* y articulación. Es un material a considerar, poco conocido y se pueden obtener buenos resultados para la praxis musical interpretativa y de formación.

6.3. APLICACIONES DIDÁCTICAS EN LA PRAXIS MUSICAL INTERPRETATIVA DE LAS DIFERENTES SORDINAS

En este apartado se analiza, a partir de tres experiencias distintas, la influencia del material de la sordina en la praxis musical interpretativa. Las cuatro experiencias estudian las sordinas *straight*, las sordinas *cup* y las sordinas *harmon* respectivamente. Estas experiencias también se han llevado a cabo con dos alumnos del tercer curso del Conservatorio Superior de Música “Salvador Seguí” de Castellón, escogidos en base a los mismos criterios anteriores para las experiencias con las boquilla.

6.3.1. Primera experiencia: sordina *straight*

Para la primera experiencia se ha empleado el solo para la trompeta de la pieza musical *Bolero* de Maurice Ravel.

Sordina *straight* de aluminio

Alumno 1: buen timbre, pero en el fuerte no pasa bien el aire por los pistones.

Alumno 2: siente la misma sensación que el anterior, pero más desafinado entre notas; la columna de aire no fluye con comodidad en esta sordina.

Sordina *straight* de aluminio y base de latón

Alumno 1: sonido demasiado abierto y retiene el paso del aire por los pistones

Alumno 2: sonido abierto, retiene el paso de aire y le suena más desafinada.

Sordina de aluminio y base de cobre

Alumno 1: buen timbre y buena calidad de sonido; también buen equilibrio de paso entre pistones

Alumno 2: buena calidad de sonido y buen *legato*.

Sordina *straight* de cobre

Alumno 1: una calidad de sonido menos que la de aluminio, pero mejor paso de aire y mejor afinación.

Alumno 2: sonido más redondo y mejor afinación que la primera.

Sordina *straight* de PVC

Alumno 1: no tiene buena calidad para este solo, no sale el sonido, no tiene claridad de paso entre pistones.

Alumno 2: tampoco le suena bien, pero además le ensordece el sonido, porque no le favorece el paso de aire.

Sordina *straight* de cartón fibra duro

Alumno 1: no tiene calidad, no pasa bien el aire y, por tanto, no es buena para este tipo de solo.

Alumno 2: no le saca calidad en el sonido; tampoco le va bien en los graves, que resultan desafinados.

Sordina *straight* de cartón fibra blando

Alumno 1: no es adecuada para este solo, no suena bien y no tiene claridad en los pasos de aire.

Alumno 2: tampoco le va bien este material no le suena bien y no pasa bien el aire.

Conclusión

La sordina que más se adecua al solo propuesto es la de cuerpo de aluminio y base de cobre, ya que mantiene muy buena calidad de sonido y buen equilibrio en el paso de aire por los pistones, pero sobretodo destaca su afinación, que es estable y eso es muy importante porque el pasaje escogido va pasando por todos los instrumentos de la orquesta y requiere una afinación precisa como base para una buena interpretación.

6.3.2. Segunda experiencia: sordina *straight*

La práctica llevada a cabo es referente al Concierto para trompeta Henri Tomasi, ya que es uno de los compositores contemporáneos que mejor emplea la sordina, junto con André Jolivet. Nuestra duda es de qué material debería estar hecha la sordina para sacar más rendimiento musical a los diferentes pasajes.

En nuestra opinión, para los pasajes de sordina ordinaria del primer tiempo del concierto de Tomasi la que más rendimiento saca, por su sonoridad, es la sordina de aluminio. Muestra una ejecución más clara, comparándola con las de cobre y PVC. Esta afirmación se basa en la experiencia. Es la más estable que hemos encontrado tanto a nivel interpretativo como a nivel de oyentes. Los demás materiales no tenían tanta claridad en la ejecución, por lo tanto, no se escuchaban tan bien desde el público. Concluimos diciendo que cuánto más masa sonora hay, la sordina que mejor se adapta y la más estable es la de aluminio. Cuando menos masa sonora, la mejor es la de cobre.

Sin embargo, en la cadencia del final del primer tiempo nuestra apreciación cambia. Al actuar la trompeta sin tanta masa orquestal le vendría mucho mejor la sordina de cobre, ya que suena más cálida. En el segundo tiempo se emplea la sordina de cartón porque da una sonoridad más oscura y es la que mejor va, ya que se trata de un movimiento lento y requiere de este tipo de sonoridad. En el tercer tiempo continuaríamos con la sordina ordinaria de aluminio, ya que es un movimiento rápido y con mucha masa orquestal.

6.3.3. Tercera experiencia: sordina *cup*

Para la tercera práctica se han empleado los compases iniciales del movimiento lento del Concierto para trompeta de A. Arutunian que requieren este tipo de sordina.

Sordina *cup* de aluminio

Alumno 1: buena calidad de sonido, pero no tiene buena concreción en el paso de aire por los pistones, cuando regula de piano a medio fuerte no pasa bien el sonido.

Alumno 2: buen sonido pero se resiente la afinación en el piano.

Sordina *cup* de PVC

Alumno 1: se suena con menos armónicos por lo tanto el sonido es más pequeño y eso le crea problemas con la afinación.

Alumno 2: el paso de aire por los pistones no lo controla. Será por el tipo de material. No le facilita la entrada y desafina bastante.

Sordina *cup* de cartón fibra blanda

Alumno 1: excelente sonido, buen control de pianos, medios fuertes y buena afinación.

Alumno 2: buen control en el paso de aire; buen sonido y buena afinación.

Sordina *cup* de cartón fibra duro

Alumno 1: produce un sonido demasiado claro para el tipo de solo, la afinación no es buena porque no le deja pasar bien el aire por los pistones.

Alumno 2: no está centrado con el paso de aire; desafina y el sonido es pequeño.

Sordina *cup* de aluminio lacada en negro

Alumno 1: buen sonido, no acaba de regular bien el aire, la afinación no es muy buena, pero tampoco es que no se pueda oír.

Alumno 2: buen sonido, regula bastante bien de piano a medio fuerte y tiene buena sensación en el paso de aire.

Conclusión

De las cinco sordinas analizadas, la que mejor se adapta al pasaje propuesto es la de cartón fibra blando, ya que produce muy buena sonoridad, el paso entre notas es bueno y sobre todo la afinación que la mantiene a muy buen nivel. También la sordina de aluminio lacada en negro es bastante completa aunque la afinación no es óptima, pero su sonido la hace recomendable para alumnos de grado profesional como sordina de uso en este tipo de pasajes.

6.3.4. Cuarta experiencia: sordina *harmon*

Para la cuarta práctica se han empleado los compases iniciales de la introducción del Concierto para trompeta núm. 2 de André Jolivet.

Sordina *harmon* de aluminio

Alumno 1: sonido más estridente que las demás. Es por eso que no le permite el equilibrio ni la afinación como las otras.

Alumno 2: no tiene calidad el sonido problemas en la afinación y en los agudos y en los fuertes no le pasa bien.

Sordina *harmon* de cobre

Alumno 1: excelente sonido y afinación, tanto en sonidos graves como en agudos; buen timbre.

Alumno 2: muy buena calidad de sonido, subidas y bajadas sin desafinar.

Sordina *harmon* de aluminio rojo

Alumno 1: buen sonido, excelente regulación de piano a fuerte, en la parte aguda buena afinación.

Alumno 2: buena calidad de sonido, también buena regulación, efectos wa-wa buenos.

Conclusión

De las tres sordinas analizadas, la de cobre es la que mejor se adecúa a la interpretación del pasaje propuesto, ya que tiene muy buena calidad de sonido, buena afinación y lo que es más importante: buena regulación de pianos a fuertes.

La segunda es la de aluminio rojo, aun sin llegar a la calidad de la de cobre; sería recomendable para alumnos de grado profesional, junto con la sordina *harmon* de aluminio.

Capítulo 7

Conclusiones y aplicaciones a la praxis musical interpretativa

La presente investigación analiza la influencia que los materiales de construcción tanto de boquillas como de sordinas pueden presentar para la respuesta final del sonido de la trompeta. Para ello se han analizado e interpretado los resultados obtenidos para siete materiales de construcción en el caso de las boquillas y de las sordinas tipo straight, cinco materiales para el caso de las sordinas tipo cup y tres para el caso de las sordinas tipo harmon. El análisis se ha realizado con el programa de tratamiento de la señal sonora Adobe® Audition® CS6 y los cálculos se han realizado mediante el programa de hoja de cálculo Microsoft® Excel®.

Al mismo tiempo y relacionado con el estudio acústico de la dependencia en función del material de construcción se han realizado una serie de experiencias para su posterior aplicación práctica. De este modo se trata de aunar los resultados obtenidos mediante el análisis acústico de las boquillas y las

sordinas, con el estudio práctico aplicado a la interpretación, estudio y docencia en el ámbito de la trompeta.

Los resultados obtenidos pueden extrapolarse a múltiples situaciones musicales, ya que a partir de estas conclusiones será cada docente, estudiante e intérprete el que adecue estas investigaciones en beneficio de su método pedagógico, su estudio o sus interpretaciones musicales. Cada problema docente, cada dificultad técnica o cada estilo musical pueden encontrar soluciones en esta investigación.

Así, el principal logro de esta investigación se centra en el uso de diferentes materiales en la construcción de boquillas y sordinas que amplíen el abanico de posibilidades existentes en las tres vertientes anteriormente expuestas, la docente, la discente y la interpretativa. Si bien es cierto que en el caso de las sordinas existe un elevado componente en cuanto a preferencias personales por parte del intérprete, también es cierto que este estudio puede ofrecer un mayor número de posibilidades a los intérpretes en su elección para un determinado pasaje, obra o estilo musical.

La aplicación de las ventajas en una u otra dirección en función del material empleado posibilita un nuevo campo de acción en el mundo de la música en general y de la trompeta en particular. A continuación se plasman las conclusiones y sus aplicaciones a la praxis musical interpretativa en los estudios y análisis realizados tanto para las siete boquillas como para las quince sordinas. Sirva pues este estudio como un primer punto de partida que pretende abordar una nueva línea de investigación en la que el uso de diferentes tipos de materiales pasan a estar al servicio de una mejor práctica interpretativa y musical.

Así pues con este trabajo no se cierra la investigación, sino más bien es un origen de futuras investigaciones que mejoren y profundicen en esta temática, ya que los experimentos realizados podrían repetirse con otro tipo de

materiales o con los mismo en boquillas de otra forma y tamaño, o en sordinas que presente la misma forma y tamaño.

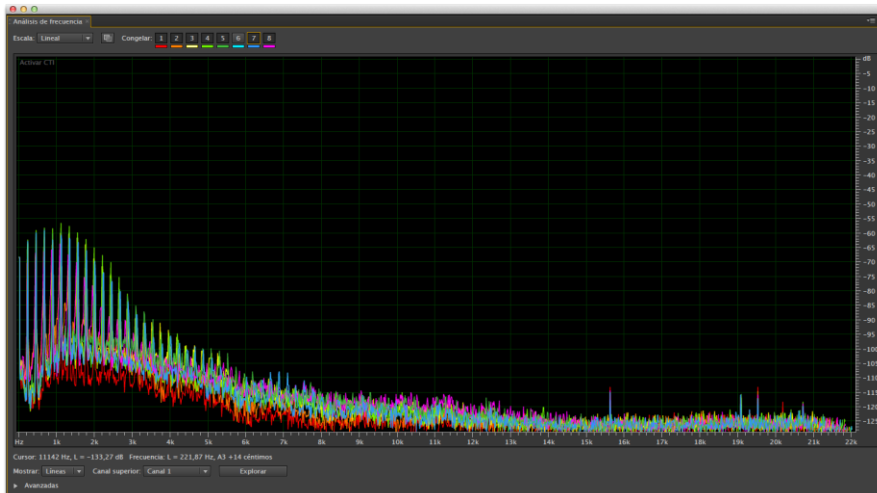
7.1. BOQUILLAS

Para el estudio de la influencia del material de construcción en una boquilla se ha realizado el análisis del espectro armónico para las notas LA3 (220 Hz), LA4 (440 Hz) y LA5 (880 Hz), lo que daría respuesta a su funcionamiento para los registros grave, medio y agudo respectivamente. Al mismo tiempo se han grabado por triplicado estas notas con el fin de obtener el promedio para cada una de ellas y minimizar la influencia del intérprete. A su vez la experiencia se ha realizado para las tres intensidades sonoras típicas de piano, medio fuerte y fuerte.

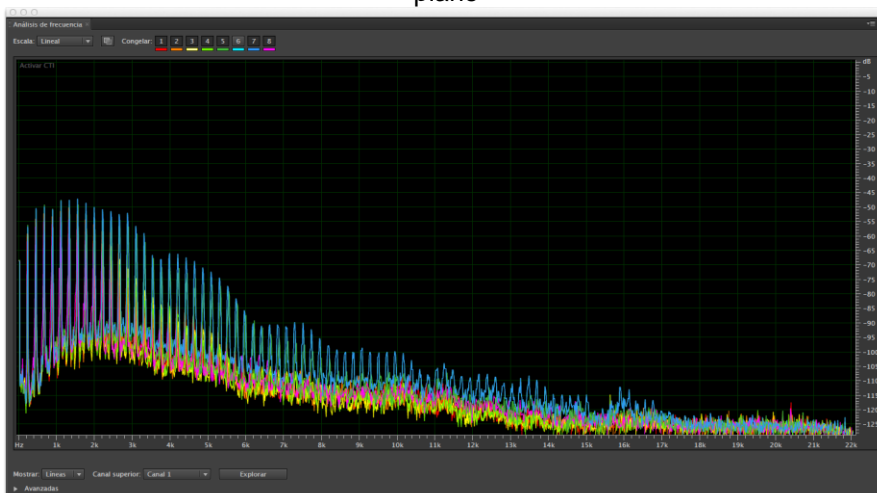
También se ha realizado el estudio de la afinación y la estabilidad sonora que presentaban cada una de las siete boquillas analizadas. Finalmente se ha calculado la respuesta para el ataque o emisión sonora de cada una de estas boquillas, todo ello buscando fines pedagógicos e interpretativos.

Los siete materiales estudiados han sido el PVC, el nylon, el grafito, la madera de granadillo, la madera de palo violeta, la madera de olivo y el latón. Tras los análisis se comprueba que la boquilla construida con latón, boquilla con la que habitualmente interpreta la mayoría de trompetistas, es la que ofrece una mejor respuesta en líneas generales. En las figuras 7.1 a 7.3 se muestran los espectros sonoros obtenidos para las siete boquillas en los tres registros y las tres intensidades sonoras.

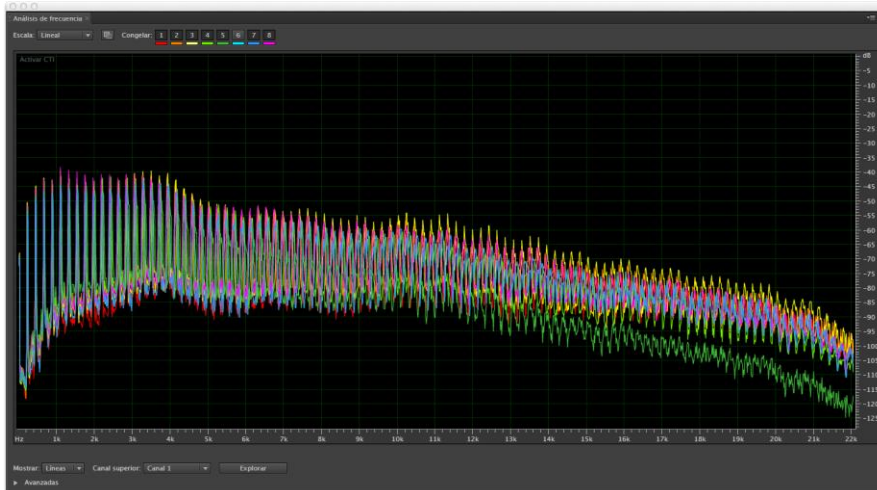
El color rojo representa el espectro de la boquilla de PVC, el color naranja el espectro de la boquilla de nylon, el color amarillo el espectro de la de grafito, el color verde claro el espectro de la de granadillo, el color violeta el espectro de la boquilla de palo violeta, el color verde oscuro el espectro de la de madera de olivo y el color azul el espectro de la boquilla fabricada con latón.



piano

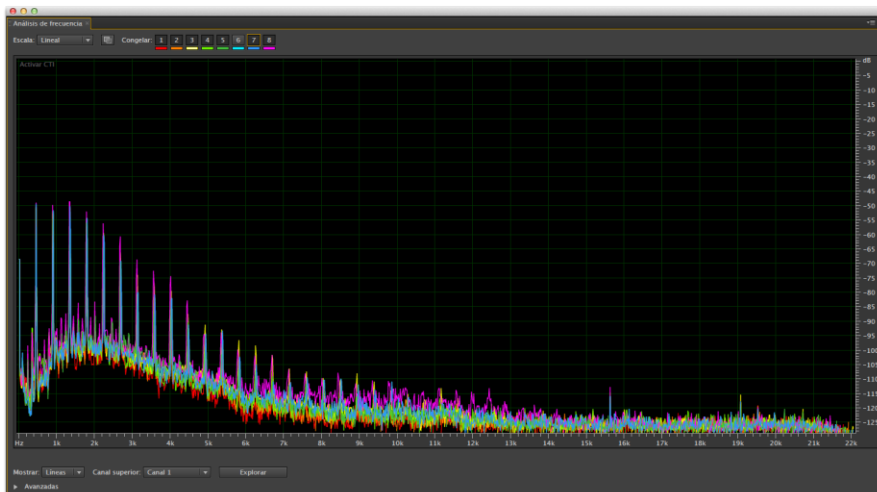


mezzoforte

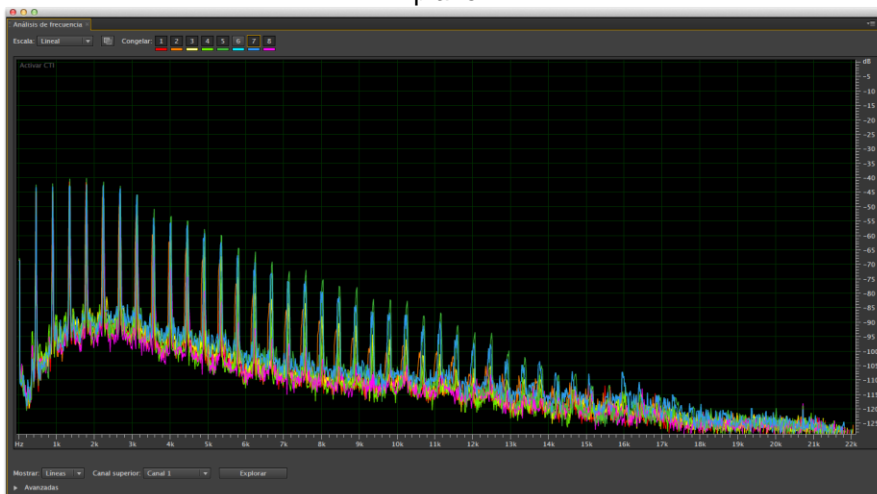


forte

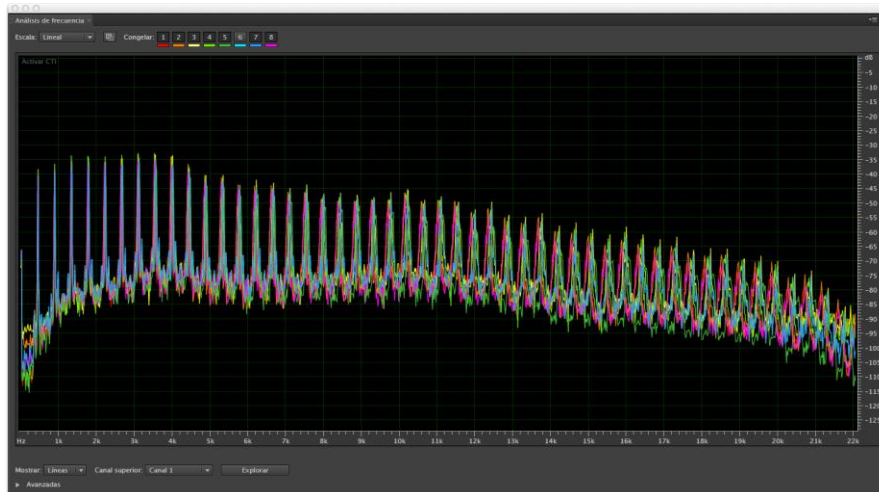
Figura 7.1. Espectro armónico boquillas LA3 (220 Hz) – p, mf, f



piano

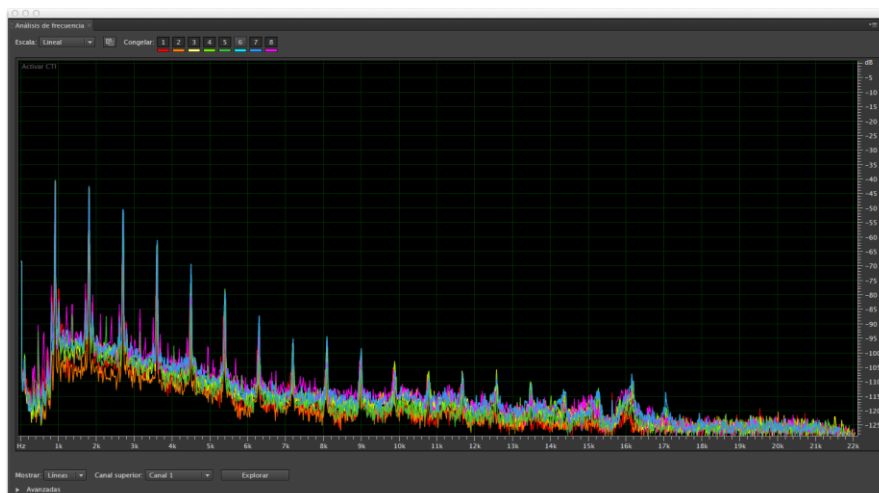


mezzoforte

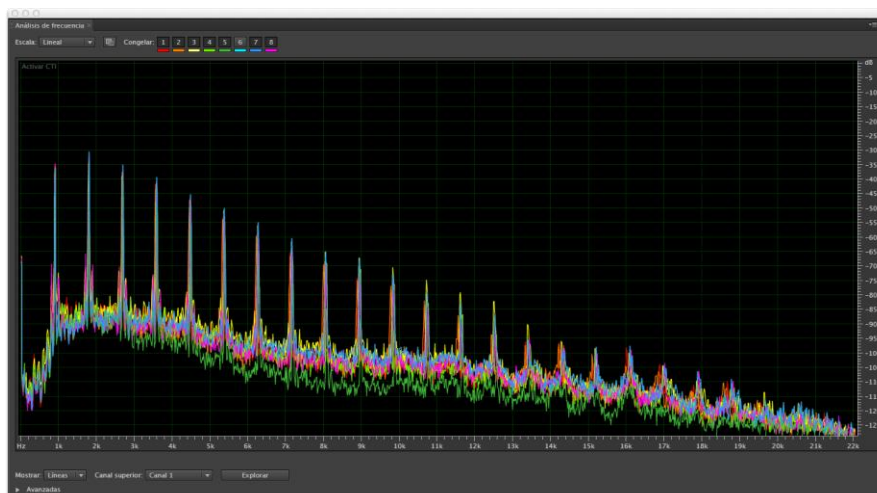


forte

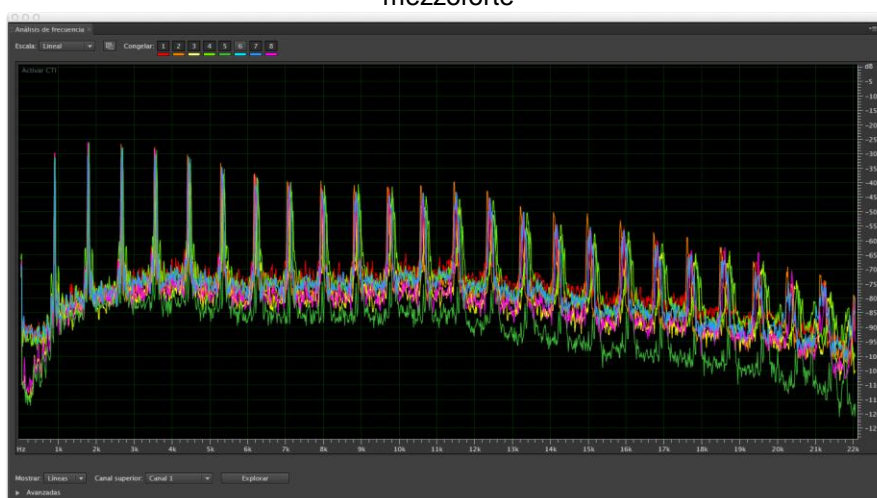
Figura 7.2. Espectro armónico boquillas LA4 (440 Hz) – p, mf, f



piano



mezzoforte



forte

Figura 7.3. Espectro armónico boquillas LA5 (880 Hz) – *p*, *mf*, *f*

Para el registro grave, LA3 a 220 Hz, la boquilla que ofrece una mejor respuesta armónica para la intensidad de piano es el olivo, seguida de la de latón y la de palo violeta respectivamente (figura 7.1). Para este mismo registro, al aumentar la intensidad a *mezzo forte*, es la boquilla de latón la que presenta mejores resultados, seguida de la de granadillo, la de palo violeta y la de grafito. Finalmente, al aumentar a *forte* la intensidad en este registro, es la boquilla de palo violeta, seguida de la de latón y la de grafito las que mejores valores muestran. Para este registro las boquillas de nylon y fundamentalmente la de PVC son las que ofrecen peores calidades tímbricas.

Analizando el registro medio, LA4 a 440 Hz, los resultados obtenidos (figura 7.2) muestran que es la boquilla de latón la que mejores valores obtiene, en cuanto a calidad tímbrica se refiere, para todas las intensidades, seguida de la de palo violeta, granadillo y olivo, es decir, de las construidas con maderas. También obtienen buenos resultados para las intensidades de forte y mezzo forte las boquillas de nylon y grafito.

En el registro agudo, LA5 a 880 Hz, sigue siendo la boquilla de latón la que mejores resultados ofrece para todas las intensidades (figura 7.3). Le siguen las boquillas construidas con las maderas de palo violeta y granadillo, respectivamente. Para este registro agudo, las boquillas que peores respuestas tímbricas ofrecen son las de nylon, PVC y, curiosamente, la de olivo para el registro central o medio.

Para el estudio de la variación de la serie armónica en función de la intensidad, a la luz de las gráficas de las figuras 4.9 a 4.15, los resultados obtenidos concuerdan con los de la bibliografía obtenidos por A. H. Benade (Benade, 1990).

En el estudio y el análisis de la afinación (figura 4.19), se ha comprobado que en líneas generales las boquillas responden disminuyendo su afinación a medida que aumenta la intensidad y crece a medida que disminuye el registro, salvo para dos sordinas, la de palo violeta y la de olivo que presentan unas ligeras anomalías con respecto al resto en el registro medio fundamentalmente.

En el estudio de la estabilidad sonora (figuras 4.20 a 4.26), se comprueba que las que ofrecen una respuesta más uniforme son las boquillas de latón, de palo violeta y de nylon. Para el resto de boquillas en el registro grave se produce alguna fluctuación que produce un sonido menos constante, caso de las boquillas de PVC, grafito, granadillo y olivo.

Para el estudio del ataque o emisión sonora se ha calculado y analizado la velocidad de ataque, proponiéndose en esta investigación un factor o tasa para su cálculo. De todas ellas, las que mejores valores ofrecen a la respuesta en el

ataque o emisión sonora son en el registro grave la de granadillo seguida de la de grafito y olivo, respectivamente; en el registro medio, todas presentan una respuesta similar, y en el registro agudo es la de grafito seguida de la de olivo las que mejores valores ofrecen.

De todo ello se concluye que las boquillas que presentan un timbre más rico y versátil son la de latón, seguida de la de palo violeta y granadillo. En cuanto a la estabilidad de la forma de onda, también son la de latón y la de palo violeta las que mejores resultados ofrecen, a las que se suma la de nylon para este ámbito de estudio. En cuanto a la afinación todas ofrecen un comportamiento similar, y en cuanto a la velocidad o respuesta de ataque son las boquillas de grafito, olivo y granadillo las que mejores resultados ofrecen.

A estos resultados hay que añadir los obtenidos para el estudio de los casos prácticos con alumnos de los estudios superiores de trompeta. Se ha mostrado como los alumnos obtienen una mayor estabilidad y calidad de sonido con la boquilla de latón, seguida de la boquilla de palo violeta y la de granadillo, que también favorece el ataque y equilibrio. Asimismo, se ha demostrado que a la boquilla de nylon y a la de PVC les falta calidad y consistencia en el sonido, aunque presentan un buen ataque. La boquilla de grafito consigue buenos resultados tanto en el ataque como en el sonido.

También se ha llegado a la conclusión de que la boquilla de palo violeta es ideal para pasajes *legatos*, seguida de la de latón. Para el *stacatto*, son las boquillas de latón y madera las que consiguen una mayor calidad en la articulación y en los pianos.

Por tanto, se concluye que la boquilla de latón es globalmente la boquilla más idónea, pero tras el estudio y análisis del resto de boquillas no se pueden descartar para según qué objetivos las boquillas de madera, fundamentalmente la de palo violeta y la de granadillo. La boquilla de grafito también puede resultar útil para según qué objetivos se persiga.

7.2. SORDINAS

Para el estudio de la influencia del material de construcción en una sordina se ha realizado el análisis del espectro armónico para las notas LA3 (220 Hz), LA4 (440 Hz) y LA5 (880 Hz), lo que daría respuesta a su funcionamiento para los registros grave, medio y agudo, respectivamente. Al mismo tiempo, se han grabado por triplicado las notas de la escala cromática desde el fa#3 al do6 con el fin de obtener el promedio para cada una de ellas y minimizar la influencia del intérprete. La experiencia se ha realizado para una intensidad sonora de fuerte.

También se ha realizado el estudio de la afinación para cada una de las notas de la escala cromática de las quince sordinas estudiadas. Todo ello, al igual que en el caso de las boquillas, con el fin de buscar tanto fines didácticos como interpretativos.

Los tres tipos de sordinas estudiados han sido el tipo *straight*, tipo *cup* y tipo *harmon*. Para el tipo *straight* se han empleado los siguientes siete materiales: aluminio, aluminio con base de latón, aluminio con base de cobre, cobre, PVC, cartón fibra duro y cartón fibra blando. Para el tipo *cup* se han empleado los siguientes cinco materiales: cartón fibra duro, cartón fibra blando, PVC, aluminio con lacado negro y aluminio. Para el tipo *harmon* se han empleado tres materiales: aluminio, cobre y aluminio lacado rojo.

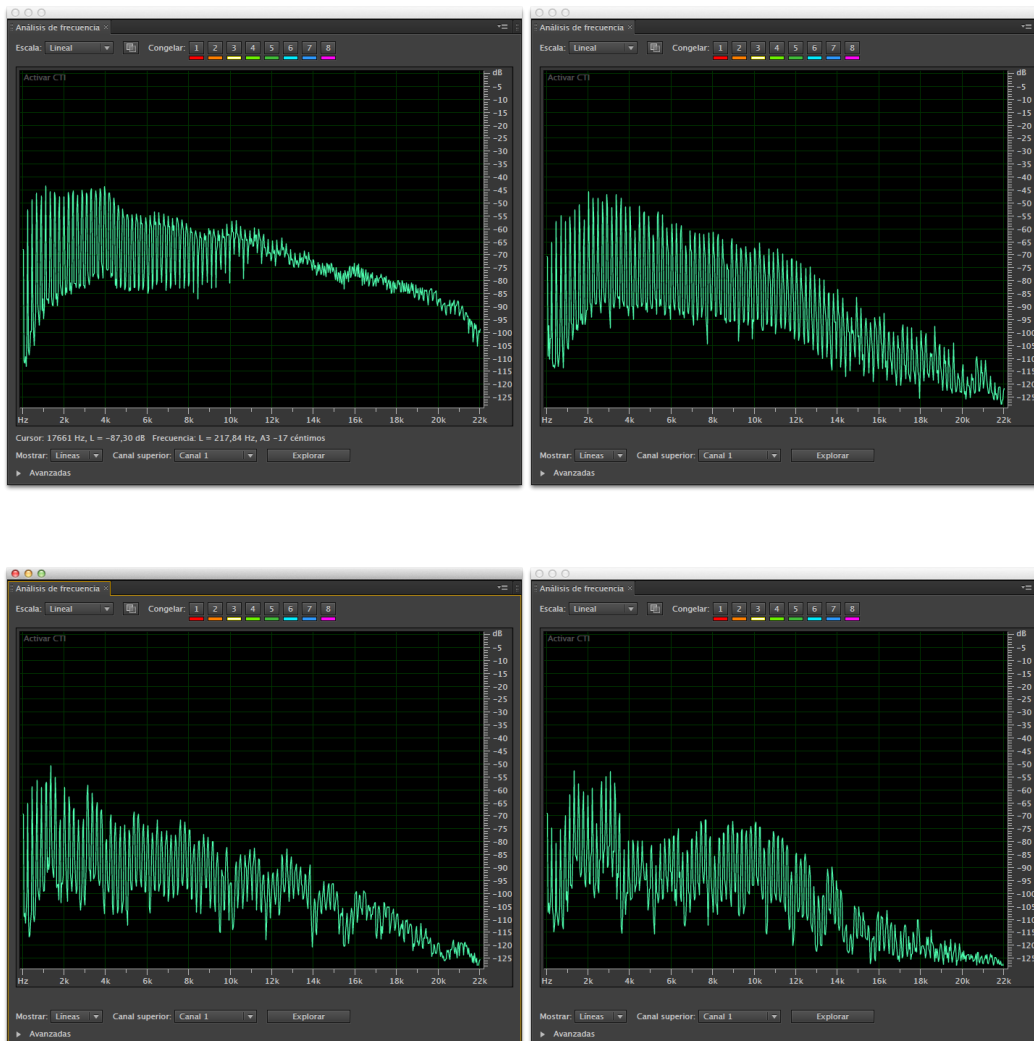


Figura 7.4. Espectro armónico LA3 (220 Hz) – trompeta y sordinas straight, cup y harmon

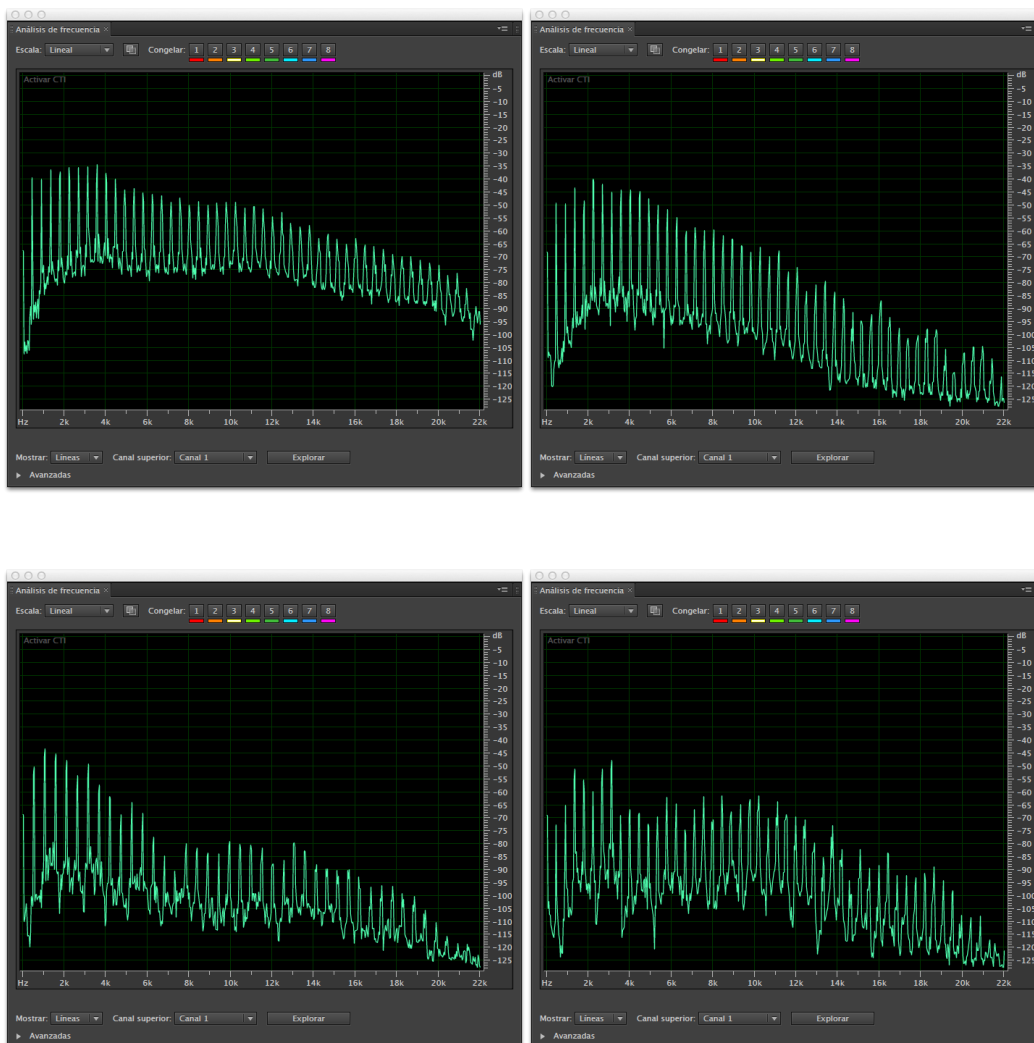


Figura 7.5. Espectro armónico LA4 (440 Hz) – trompeta y sordinas straight, cup y harmon

Los resultados obtenidos se asemejan a los de la bibliografía (Ansell, 1960) y (Bertsch, 1995a). Así, la figura 1.4 es comparable a las figuras 7.4 a 7.7, donde se muestran los espectros armónicos para los registros grave, nota LA3 a 220 Hz, medio, nota LA4 a 440 Hz y agudo, nota LA5 a 880 Hz para la trompeta sin sordina, la sordina *straight*, *cup* y *harmon* de aluminio en los tres casos.

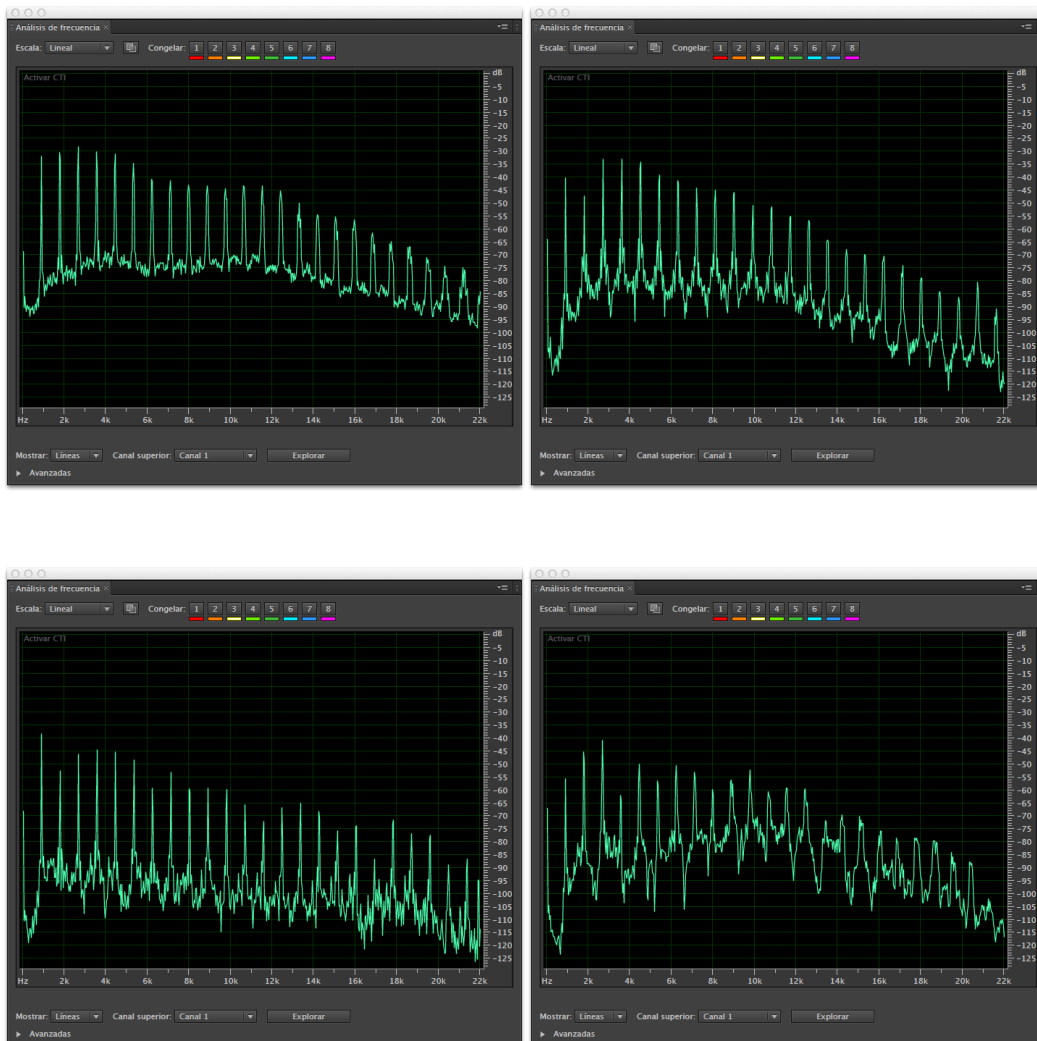


Figura 7.6. Espectro armónico LA5 (880 Hz) – trompeta y sordinas straight, cup y harmon

Finalmente, en la figura 7.7 se muestra la envolvente de los promedios de las sordinas estudiadas, que también es comparable a los resultados obtenidos por Ancell mostrados en la figura 1.3 (pág.).

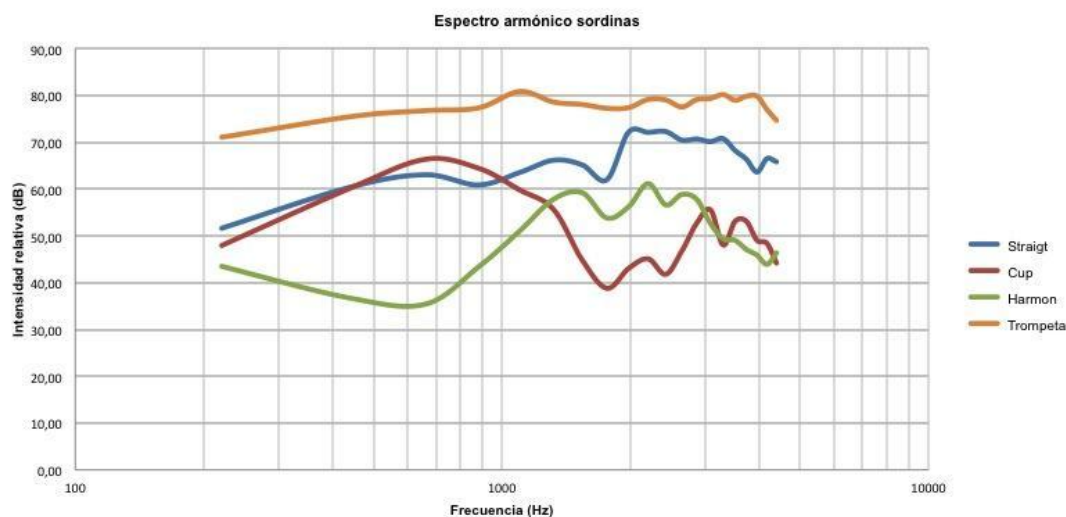


Figura 7.4. Envolturas espectros armónicos LA3 (220 Hz)
Trompeta y sordinas straight, cup y harmon

Estos resultados deben conmutarse con los obtenidos con las experiencias interpretativas realizadas con los alumnos de cursos superiores. En estas prácticas se concluye que para la sordina tipo *straight* es la que tiene el cuerpo construido de aluminio con base de cobre, ya que presenta una buena calidad sonora y responde de forma equilibrada al paso de las notas, destacando también su buena afinación. Le sigue la sordina de aluminio, por ser la que mayor sonoridad proyecta y con la que se consigue una mayor estabilidad sonora.

La sordina tipo *straight* de cobre también ofrece una buena relación en cuanto a calidad sonora y estabilidad, además de presentar un timbre cálido que puede ser beneficioso para según qué determinados estilos musicales.

Las sordinas de cartón presentan sonoridades más oscuras que pueden producir un ambiente más íntimo en el resultado final.

Para el caso de las sordinas tipo cup, de las cinco analizadas la sordina que mejor se adapta a pasajes que requieren un alto grado de intimidad es la sordina de cartón fibra blando la que produce una mejor sonoridad, ya que el paso entre notas es bueno destacando su afinación. También la sordina de aluminio lacada en negro es bastante completa aunque la afinación no resulta del todo óptima, pero su sonido es de los que mejor se adaptan para este tipo de sordinas.

De las tres sordinas de tipo harmon analizadas destaca la de cobre al presentar una buena calidad sonora, buena afinación y facilidad para regular pasajes que alternan fuertes y pianos en su dinámica. Le sigue la sordina harmon fabricada con aluminio rojo, seguida de cerca por la de aluminio.

Tras el análisis de la afinación para las quince sordinas se concluye que todas responden de un modo similar para el registro medio de la tesitura del instrumento. Es en este registro en el que se dan los valores más constantes y más ajustados a la afinación temperada. En el registro agudo, todas presentan una elevación de la afinación debida a que para poder ejecutar notas de esta tesitura se requiere una mayor presión en la columna de aire y por tanto una mayor presión sonora, lo que consiguientemente hace que se eleve la afinación.

En el registro grave las fluctuaciones en la afinación son mayores, no presentan una tendencia clara. En algunas notas la afinación queda alta y en otras baja respecto a la afinación temperada de referencia.

En conclusión, el estudio y análisis realizado para las sordinas ofrece un mapa de ruta para la elección de un material u otro para determinado tipo de sordina, straight, cup o harmon, a la hora de interpretar un determinado pasaje musical, una obra, concierto o estilo musical, desde el mundo de la música culta al jazz, pasando incluso por la música popular urbana.

BIBLIOGRAFÍA

- ADACHI, S., SATO, M. (1995). "On the transition of lip-vibration states in the brass instruments". *Proc. Internat. Symp. Musical Acoust.* (Dourdan, France) IRCAM.
- , ——— (1996). "Trumpet sound simulation using a two-dimensional lip vibration model". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 99.
- ALBEROLA, V., ANDRÉS FAUS, L. (2008). *Atlas de Trompeta. Vol. 1*. Rivera Editores
- ANCELL, J. E. (1960). "Sound pressure spectra of a muted cornet". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 32.
- ARBAN, J. B. (1864). *Grande Methode complète pour cornet à pistons et de saxhorn*. París, Carl Fischer.
- BAINES, A. (1993). *Brass Instruments. Their History and Development*. Dover Publications
- BAKUS, J. (1976). "Input impedance curves for the brass instruments". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 60.
- BAKUS, J., HUNDLEY, T. C. (1971). "Harmonic generation in the trumpet". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 49.
- BENADE, A. H. (1990). *Fundamentals of Musical Acoustics*. Ed. Dover Publications
- (1995a). "Two aspects of trumpet-playing". *International Symposium on Musical Acoustics*, Dourdan-París, julio 1995.
- BERTSCH, M. (1995b). "Trumpet mutes". *32nd Czech Conference on Acoustics*, Praga, septiembre 1995.
- CALVO-MANZANO, A. (2000). *Acústica físico-musical*. Madrid, Real Musical
- CAMPOS, V. (2000). "Del *cornetto* y la trompeta natural a las trompetas del siglo XX. Estudio acústico de sus prestaciones tímbricas". Trabajo de investigación programa de doctorado Razón, Lenguaje e Historia, área Estética y Teoría del

Arte, Facultat de Filosofia y Ciencias de la Educación, Universitat de Valencia, inèdit.

- CARDWELL, W. T. (1970). "Cup-mouthpiece wind instruments". U.S. Patent nº 3507181; reimpresso en (Kent, E. L., 1970).
- CARSE, A. (2002). *Musical Wind Instruments*. Ed. Dover
- CARUSO, C. (1979). *Musical Calisthecnics for Brass*, Miami, FL. Almo Publications.
- CLARKE, H. L. (1984). *Technical Studies for the Cornet*. Carl Fischer.
- COLIN, Ch. (1980). *Advanced lip flexibilities for trumpet*. Charles Colin Music Publishing.
- DAUVERNÉ, F. G. A. (1857). *Méthode pour la Trompette*. París, Billaudot.
- De DIEGO, A. M. ,MERINO, M. (1988). *Fundamentos físicos de la música*. Valladolid, Instituto de Ciencias de la Educación – Universidad de Valladolid
- ESTÉVEZ, F. (1990). *Acústica musical*. Ópera Tres
- FLETCHER, N. H., ROSSING, T. D. (1998). *The Physics of Musical Instruments*. Springer-Verlag
- HELMHOLTZ, H. (1954). *On the Sensations of Tone*. Dover Publications
- HERBERT, T., WALLACE, J. Eds. (2002). *Brass Instruments*. Cambridge University Press
- JEANS, J. (1968) *Science & Music*. Ed. Dover Publications
- KENT, E. L. (1961). "Wind instruments of the cup mouthpiece type". U.S. Patent nº 2987950; reimpresso en (Kent, E. L., 1970).
- (1977). *Musical Acoustics: Piano and Wind Instruments*. Ed. Dowden, Hutchinson y Ross.
- LEIPP, E. (1984). *Acoustique et Musique*. Ed. Masson
- LONG, T. H. (1947). "The performance of cup-mouthpiece instruments". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 19.
- LÓPEZ CANO, R., SAN CRISTOBAL, U. (2014). *Investigación Artística en Música*. ICM.
- LUCE, D., CLARK, M. (1967). "Physical correlates of brass-instruments tones". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 42.
- MARTIN, D. W. (1942a). "Lip vibration in a cornet mouthpiece". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 13.
- (1942b). "Directivity and the acoustic spectra of brass wind instruments". *Journal of the Acoustical Society of America*, nº 13
- MASSMANN, H., FERRER, R. (1993). *Instrumentos musicales: artesanía y ciencia*. Dolmen Ediciones.

- OLAZÁBAL, T. de. (1998). *Acústica musical y organología*. Ricordi
- PASTOR, V., ROMERO, A. (2011). *Acústica Musical 1*. Valencia, Rivera Editores
- REMNANT, M. (2002). *Historia de los instrumentos musicales*. Robinbook - Ma Non Troppo
- ROEDERER, J. G. (1995). *Acústica y psicoacústica de la música*. Ricordi
- SLUCHIN, B., CAUSSE, R. (1991). *Sourdines des cuivres*, París. Ed. De la Maison des sciences de l'homme.
- STAMP, J. (1978). *Método de trompeta Warm-ups + Studies*. BIMTP2.
- STORK, P. (1989). *Understanding the Mouthpiece*. Editions BIM, Bulle
- TARR, E. H. (1988). *The Trumpet*. B. T. Batsford Ltd
- TRANCHEFORT, F.-R. (2000). *Los instrumentos musicales en el mundo*. Madrid, Alianza Música

MANUALES DE USO

ADOBE AUDITION CS6. *Manual de uso*

YAMAHA (2015). *Trompeta/Corneta/Fliscorno/Trompeta de cilindros. Manual de instrucciones*. Japon.

WEBGRAFIA

<http://yamaha.com/>

http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_pvc_rigido.html

<http://www.ensinger.es/es/materiales/plasticos-de-ingenieria/poliamida/>

<http://www.quiminet.com/articulos/los-usos-y-aplicaciones-mas-comunes-del-grafito-3445082.htm>

<http://infomaderas.com/2013/04/08/maderas-de-colombia-granadillo-o-quayacan-trebol/>

<http://maderasbarber.com/las-maderas/>

<http://www.noticiashabitat.com/2011/caracteristicas-de-la-madera-de-olivo/>

<http://www.delmetal.com.ar/productos/laton.html>

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>

<http://elementos.org.es/cobre>

<http://es.scribd.com/doc/179468154/Car-ton-Gris-o-Car-ton-Piedra#scribd>

ANEXOS

A
NEXO
I.
CÁLC
ULOS
PARA
LAS
BOQU
ILLAS

PVC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	49,7	52,3	51,7		47,6	45,3	43,3	38,3	32,8	27,9	28,6	23,5	22,6	19,1	18,5	11,9	
	5	1	8	48	8	1	4	3	7	5	4	3	9	5	3	3	7,0

	52,2 7	54,5 5	54,4 3	51,0 8	52,9 5	51,3 4	47,7 5	43,7	35,3 8	32,8	33,1	29,8 4	29,6 2	23,6 3	15,7 3	14,4 2	12, 1
	52,9 9	53,9 8	53,8 2	51,0 5	52,3 1	50,5 8	48,3 4	42,5	35,0 9	32,1 6	30,8 4	26,9 4	27,0 8	24,9 6	22,7 1	19,7 3	18, 2
PVC	51,6 7	53,6 1	53,3 4	50,0 4	50,9 8	49,0 8	46,4 8	41,5 1	34,4 5	30,9 7	30,8 6	26,7 7	26,4 6	22,5 8	18,9 9	15,3 6	12, 2
A3(p)	0,85	1,16	1,39	1,77	2,88	3,28	2,73	2,82	1,37	2,63	2,23	3,16	1,75	3,04	3,51	3,98	5,7
	65,3 6	61,1 8	56,7 8	48,9 1	36,4 8	28,1 1	28,0 3	22,1 3	19,6 7	13,0 7	12,1 7	9,97	3,64	2,72	4,92	2,11	1,5
	65,5 6	61,5	56,3	51	46,1 8	38,9 1	32,7 9	24	20,3 1	16,3 1	14,1 3	13,8 5	8,08	1,84	5,4	3,18	0,1
	67,0 8	62,3 8	58,8 4	53,4 1	47,6	35,4 8	31,0 7	26,7 3	23,4 1	18,6 1	17,5 3	17,0 3	7,93	5,06	8,17	6,37	6,7
PVC	66,0 0	61,6 9	57,3 1	51,1 1	43,4 2	34,1 7	30,6 3	24,2 9	21,1 3	16,0 0	14,6 1	13,6 2	6,55	3,21	6,16	3,89	2,8
A4(p)	0,47	0,62	1,35	2,25	6,05	5,52	2,41	2,31	2,00	2,78	2,71	3,54	1,26	1,66	1,75	2,22	3,4
	74,8 8	66,2 6	56,1 1	45,2 1	36,7 8	27,2 8	21,8 6	19,7 6	13,2 4	15,8	12,6 6	5,44	4,63	4,13	5,63	5,63	0,1
	75,1	69,9 5	61,8 3	50,8 4	43,0 9	34,8 4	23,7 3	18,0 4	18,4 5	11,6 7	17,8	8,64	6,23	3,04	0,12	0,12	-1,4
	79,2 1	74,6 7	66,5 2	56,8 2	46,2 3	40,1 3	19,4 1	16,7 2	13,8	15,4	15,9 2	5,65	7,38	1,64	4,06	0,79	0,7
PVC	76,4 0	70,2 9	61,4 9	50,9 6	42,0 3	34,0 8	21,6 7	18,1 7	15,1 6	14,2 9	15,4 6	6,58	6,08	2,94	3,27	2,18	-0,3
A5(p)	1,22	4,22	5,21	5,81	4,81	6,46	2,17	1,52	2,86	2,28	2,60	1,79	0,69	1,25	2,84	3,01	1,1

PVC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	58,7 5	62,0 0	62,3 4	61,7 4	63,2 6	64,4 1	62,1 1	59,0 0	55,8 0	51,1 4	51,3 0	45,9 2	42,5 9	36,7 9	32,4 0	28,5 4	27, 0
	60,2 3	65,0 6	66,3	65,2 7	67,4	67,0 5	63,9 8	61,8 6	60,9 7	60,0 7	58,8 7	53,8	50,0 8	43,6 1	39,7 9	35,4 1	35, 9
	60,3 3	65,4 5	66,0 3	63,5 4	67,0 6	68,5 4	66,5 1	63,6 1	60,3 3	58,5 1	56,6 4	52,4 3	49,3 3	41,5 6	33,8 9	34,5	33, 6
PVC	59,7 7	64,1 7	64,8 9	63,5 2	65,9 1	66,6 7	64,2 0	61,4 9	59,0 3	56,5 7	55,6 0	50,7 2	47,3 3	40,6 5	35,3 6	32,8 2	32, 2
A3(mf)	0,44	1,89	2,21	1,77	2,30	2,09	2,21	2,33	2,82	4,77	3,89	4,21	2,06	3,50	3,91	3,73	4,1
	72,5 5	71,3	73,3 8	73,1 5	69,5 1	64,9 1	57,9 2	51,4 9	49,0 7	45,7 4	38,7 9	33,6 6	27,4 6	24,9 5	19,3 4	16,3 5	18, 2
	74,1	73,0	75,4	74,5	71,7	70,3	63,9	57,0	57,0	54,2	50,2	43,6	36,6	35,2	33,7	29,6	26,

		4	8	4		3	3	6	9	5	1	7	9	5	2	5	5
	74,9	75,5	78,3	78,2	75,8	72,2	65,9	58,7	57,7	55,2	50,7	47,8	40,5	35,0	29,4	24,1	26,
	1	6	9	3	7	8	6	7	8	4	5	7	5	7	9	4	1
PVC	73,8	73,3	75,7	75,3	72,3	69,1	62,6	55,7	54,6	51,7	46,5	41,7	34,9	31,7	27,5	23,3	23,
	5	0	5	1	6	7	0	7	5	4	8	3	0	6	2	8	6
A4(mf)																	
)	0,60	2,14	2,52	2,63	3,23	3,82	4,18	3,81	4,84	5,22	6,75	7,30	3,36	5,90	7,39	6,68	4,4
	82,0	83,4	79,1	74,1	68,1	62,3	54,8	48,5	44,2	41,5	38,2	32,3	26,5	25,1	20,9	16,8	14,
	9	4	3	5	7	2	6	6	7	2	1	2	1	8	4	9	9
	84,1	86,3	82,0	76,7	70,4	64,5	59,3	51,9	48,7		39,8	34,4	28,7	24,5		23,8	16,
	4	4	7	6	7	6	6	3	3	45,4	2	7	9	7	20,7	1	5
	84,9	87,3	83,9	79,3	73,6	68,1		55,4	51,5	46,9	42,6	36,4	30,2	21,2	23,5	24,5	16,
	8	3	1	2	5	1	61,4	2	7	2	9	5	2	8	1	2	2
PVC	83,7	85,7	81,7	76,7	70,7	65,0	58,5	51,9	48,1	44,6	40,2	34,4	28,5	23,6	21,7	21,7	16,
	4	0	0	4	6	0	4	7	9	1	4	1	1	8	2	4	5
A5(mf)																	
)	0,74	2,02	2,41	2,59	2,75	2,92	3,35	3,43	3,68	2,78	2,27	2,07	0,94	2,10	1,56	4,22	1,0

PVC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	71,7		80,0	77,8	81,2	81,0	79,9			79,9	80,1	81,1		82,2	83,0	80,4	80,
	3	77,8	6	5	6	9	1	78,5	77	2	9	4	82,6	2	4	8	6
	71,8	76,4	77,4	77,5	81,1	79,0	76,7	77,4		79,5		78,8	81,0	81,3	79,6	80,9	80,
	8	1	2	7	1	7	3	4	75,6	9	77,8	1	3	9	9	8	8
		77,7	79,2	77,6		79,5	76,1	77,2	74,4	77,7		77,7	80,0	80,5	79,0	80,1	79,
	72,9	3	5	6	80,8	7	7	6	3	8	76,8	2	3	3	9	4	5
PVC	72,1	77,3	78,9	77,6	81,0	79,9	77,6	77,7	75,6	79,1	78,2	79,2	81,2	81,3	80,6	80,5	80,
	7	1	1	9	6	1	0	3	8	0	6	2	2	8	1	3	6
A3 (f)	0,32	0,78	1,35	0,14	0,23	1,05	2,02	0,67	1,29	1,15	1,74	1,75	0,65	0,85	2,13	0,42	0,2
	83,5	85,4	89,0	87,7	88,9	87,1	88,5	89,9	88,9	86,6	83,9	83,2		80,6	80,5	78,0	77,
	4	5	1	9	2	3	4	6	1	3	1	6	80,8	1	3	2	3
		85,5		88,1	88,9	88,2	90,2	90,7	89,2	86,6		83,1	80,7	80,4	80,6	78,3	
	83,8	8	88,8	7	3	6	4	6	8	8	83,5	9	2	6	4	5	78,
	83,6	86,0	88,0		84,8		86,9	87,2	85,7	82,6	78,4	78,9	76,9	76,5	76,4		75,
	6	4	7	85,8	9	85,3	4	2	6	8	3	4	8	5	5	74,1	3
PVC	83,6	85,6	88,6	87,2	87,5	86,9	88,5	89,3	87,9	85,3	81,9	81,8	79,5	79,2	79,2	76,8	77,
	7	9	3	5	8	0	7	1	8	3	5	0	0	1	1	2	9
A4 (f)	0,07	0,31	0,49	1,27	2,33	1,49	1,65	1,86	1,93	2,30	3,05	2,47	1,09	2,30	2,39	2,36	1,6
	87,4	91,1	87,7	88,4	85,7	82,3	80,1	77,7	75,0	76,4	76,1	73,0	72,7	72,1	66,5	63,4	
	5	8	3	2	8	2	3	5	9	1	1	2	7	5	9	3	61,
	90,7	92,3	92,3	91,8	87,9	85,4		80,8	80,2	78,4	80,7	77,8	77,9	76,1	71,5		65,
	4	9	7	4	4	5	83,2	7	2	3	8	6	9	4	3	67,8	3
		94,1	94,5	95,7	93,3	90,1	87,2	85,0	83,9		83,3	82,1	82,9	81,1	76,1		72,
	90,6	7	7	3	4	2	8	3	3	82,8	7	9	5	6	8	73,6	7

PVC	89,6 0	92,5 8	91,5 6	92,0 0	89,0 2	85,9 6	83,5 4	81,2 2	79,7 5	79,2 1	80,0 9	77,6 9	77,9 0	76,4 8	71,4 3	68,2 8	66, 3
A5 (f)	0,93	1,50	3,49	3,66	3,89	3,93	3,59	3,65	4,44	3,27	3,68	4,59	2,55	4,51	4,80	5,10	5,5

PVC	f (Hz)	cents	PVC	f (Hz)	cents	PVC
A3 (p)	221,19	9,34	A3 (mf)	219,12	-6,94	A3 (f)
	220,3	2,36		219,45	-4,33	
	220,58	4,56		219,42	-4,57	
	220,69	5		219,33	-5	
DE	0,46		DE	0,18		DE
A4 (p)	445,2	20,34	A4 (mf)	442,63	10,32	A4 (f)
	445,08	19,87		441,32	5,19	
	444,93	19,29		442,25	8,83	
	445,07	20		442,07	8	
DE	0,14		DE	0,67		DE
A5(p)	898,67	36,35	A5(mf)	890,69	20,90	A5(f)
	893,39	26,14		888,07	15,80	
	894,08	27,48		887,71	15,10	
	895,38	30		888,82	17	
DE	2,87		DE	1,63		DE

Nylon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	52,8	54,4	53,0	49,5	49,5	46,7	43,4		35,1	26,6	22,7	22,0	18,9	19,1	19,4	14,6	12,8
	8	5	4	8	1	6	4	39,6	1	4	3	5	6	9	4	3	6
	53,2	55,7	56,4	54,9		53,1	48,6	41,2	36,2	31,1	26,5	24,1	20,5	17,4		12,9	
	9	4	4	1	55,3	3	3	6	8	6	7	4	7	3	17,3	1	8,7
	50,2	51,5		49,5	50,9	49,7		41,1	35,3	30,5	25,9		22,5		18,9	16,5	13,6
	4	6	51,5	4	6	5	46,3	9	7	4	9	26,9	2	19,6	8	8	6
NYLO N	52,1	53,9	53,6	51,3	51,9	49,8	46,1	40,6	35,5	29,4	25,1	24,3	20,6	18,7	18,5	14,7	11,1
	4	2	6	4	2	8	2	8	9	5	0	6	8	4	7	1	1
A3 (p)	0,83	2,14	2,53	3,09	3,01	3,19	2,60	0,94	0,61	2,45	2,07	2,43	0,89	1,15	1,13	1,84	2,53
	67,1	62,2		50,7	49,9	42,5	29,3	26,0	19,6	18,8	12,1		10,1				
	3	1	56,4	1	3	9	5	2	7	1	2	12	5	6,62	3,76	1,98	1,3
	68,4	64,3	58,7	52,2	50,8	39,3	32,8	25,5	24,1		18,2	14,9					
	4	8	4	4	1	7	7	1	1	18,5	4	5	8,24	5,81	5,99	3,66	2,2
	66,5		62,5	60,2	57,5	50,9	36,4	32,1	32,4	21,9	19,6	15,4					
	4	63,2	9	8	9	4	5	7	6	9	2	1	7,67	5,75	4,18	5,08	5,9
NYLO N	67,3	63,2	59,2	54,4	52,7	44,3	32,8	27,9	25,4	19,7	16,6	14,1					
	7	6	4	1	8	0	9	0	1	7	6	2	8,69	6,06	4,64	3,57	3,1
A4 (p)	0,49	1,09	3,13	5,14	4,19	5,97	3,55	3,71	6,49	1,93	3,99	1,85	0,65	0,49	1,19	1,55	2,4
	77,0		55,2	30,6	32,8	23,8	15,6	13,1									
	3	67,8	6	6	4	5	8	6	7,06	8,13	8,03	4	3,65	2,42	0,21	-1,4	-1,4
	73,9	66,7	55,9	43,2	31,5	20,9	15,4	12,9	10,4								
	3	3	1	5	8	6	2	3	4	8,72	9,13	4,83	3,31	5	2,42	-0,85	2,0
	76,4	69,1		42,2	35,9		15,2	12,1	11,3	14,1	12,1						
	2	1	56,2	7	5	17,6	3	7	7	4	2	7,6	7,65	5,4	0,19	0,22	0,2
NYLO N	75,7	67,8	55,7	38,7	33,4	20,8	15,4	12,7		10,3							
	9	8	9	3	6	0	4	5	9,62	3	9,76	5,48	4,87	4,27	0,94	-0,68	0,2
A5 (p)	0,82	1,19	0,48	7,00	2,25	3,13	0,23	0,52	2,27	3,31	2,12	1,89	1,21	1,62	1,28	0,82	1,7

Nylon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	59,2	61,7		61,7		62,8		60,0	58,2	56,8	56,6			44,5	39,3		34,
	3	4	64,3	7	62,3	1	60,8	1	4	7	1	53,4	49,8	6	1	37,7	8
	60,1	63,3	63,2	61,1	61,5	61,8		57,3	58,8	55,9	55,6	53,1	48,1	44,7	37,0	35,8	32,
	4	1	3	8	5	9	60,1	6	2	8	3	1	7	5	4	9	5
	60,1	65,4	66,2	65,2	67,9	68,7	66,1	64,8	64,2	61,6	60,8	57,5	52,9	44,6	36,1	35,6	36,
	5	2	9	8	3	6	2	4	1	2	4	7	9	7	1	5	4
NYLO N	59,8	63,4	64,6	62,7	63,9	64,4	62,3	60,7	60,4	58,1	57,6	54,6	50,3	44,6	37,4	36,4	34,
	4	9	1	4	3	9	4	4	2	6	9	9	2	6	9	1	9
A3(mf)	0,26	1,85	1,55	2,22	3,49	3,73	3,29	3,79	3,29	3,03	2,77	2,50	1,23	0,10	1,65	1,12	1,6
	74,7	74,6	75,2	72,7		68,7	65,0	58,4	54,6	52,2		47,4	40,2	35,9	32,3	29,3	27,
	1	8	4	6	70,8	4	1	2	3	3	50,3	5	2	8	4	7	3
	75,6	74,4	77,9	76,7		73,7	70,8	64,3	60,0	59,0	56,8	55,2		45,8	43,3	40,9	41,
	2	6	2	9	75	2	5	2	1	7	1	5	49,8	1	5	9	3
	74,6	73,5	75,7	74,0	71,8	70,9	67,9	60,6	57,6	55,6	52,0	49,8	44,4	38,0	31,7	30,1	30,
	9	1	6	6	9	9	5	2	6	4	7	6	2	3	8	3	2
NYLO N	75,0	74,2	76,3	74,5	72,5	71,1	67,9	61,1	57,4	55,6	53,0	50,8	44,8	39,9	35,8	33,5	33,
	1	2	1	4	6	5	4	2	3	5	6	5	1	4	2	0	9
A4(mf)	0,27	0,62	1,42	2,06	2,18	2,49	2,92	2,98	2,70	3,42	3,37	3,99	2,40	5,19	6,52	6,50	7,3
	85,4	86,3	81,0	78,2	72,5	64,8	58,4	52,2	47,5	44,6	42,5	36,3			21,2	19,1	18,
	2	1	3	3	4	5	6	3	3	5	1	7	30,8	27,8	5	7	3
	80,9	81,6	78,3	72,3	67,0	60,6	52,9	47,3	42,4		35,2	31,1	27,2	21,4			15,
	3	2	6	7	4	4	1	9	2	39	5	6	4	9	20,2	15,8	6
	84,0		79,9	75,6	69,4	65,1	58,1	52,2	48,6	43,3		36,3		24,8	20,7		17,
	8	83,6	8	5	8	2	8	1	2	1	41,3	9	31,4	3	7	21,2	9
NYLO N	83,4	83,8	79,7	75,4	69,6	63,5	56,5	50,6	46,1	42,3	39,6	34,6	29,8	24,7	20,7	18,7	17,
	8	4	9	2	9	4	2	1	9	2	9	4	1	1	4	2	3
A5(mf)	1,15	2,35	1,35	2,94	2,76	2,51	3,13	2,79	3,31	2,95	3,89	3,01	1,12	3,16	0,53	2,73	1,6

Nylon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	70,8	76,3	78,5	77,3	78,9	78,3	78,9	78,3	76,6	78,1	77,9	77,4	77,7	78,8	80,2	78,8	78,
	4	6	2	7	4	6	7	6	1	4	9	6	3	6	2	6	8
	71,1	76,1	77,4		79,5	77,1	76,2	74,0	73,3	76,4	74,9		77,9	79,5	79,6	78,7	78,
	1	2	1	76,8	5	2	1	9	7	9	4	77	6	5	8	6	6

	71,8 6	76,5 1	79,1	77,5 2	79,5 8	79,5 5	78,8	77,8 3	74,8 7	77,3 1	78,6 1	79,4 8	80,1 1	81,2 5	80,8 4	81,2 6	81, 2
NYLO N	71,2 7	76,3 3	78,3 4	77,2 3	79,3 6	78,3 4	77,9 9	76,7 6	74,9 5	77,3 1	77,1 8	77,9 8	78,6 0	79,8 9	80,2 5	79,6 3	79, 5
A3 (f)	0,26	0,20	0,86	0,38	0,36	1,22	1,55	2,33	1,62	0,83	1,96	1,32	0,66	1,23	0,58	1,42	1,3
	82,5 7	83,1 8	86,9 7	85,6 3	85,7 5	86,2 8	87,6 7	88,3 5	86,6 2	84,0 7	80,3 7	78,8 3	76,6 6	76,2 6	76,3 7	74,6 3	74, 2
	83,3	84,8 7	86,0 8	85,8 9	86,1 1	85,4 1	87,5 5	89,1 2	87,9 7	84,1 9	80,5 4	81,6 8	79,8 2	77,8	78,2 9	76,7 7	76, 4
	82,2 5	84,2 6	86,9 9	86,5 9	86,6 9	87,8 8	89,5 2	89,8 7	88,5 4	86,1	82,2 8	81,5 79	79	78,7	78,7 6	76,5 4	76, 1
NYLO N	82,7 1	84,1 0	86,6 8	86,0 4	86,1 8	86,5 2	88,2 5	89,1 1	87,7 1	84,7 9	81,0 6	80,6 7	78,4 9	77,5 9	77,8 1	75,9 8	75, 6
A4 (f)	0,27	0,86	0,52	0,50	0,48	1,25	1,10	0,76	0,99	1,14	1,06	1,60	0,82	1,23	1,27	1,17	1,0
	90,4 5	91,2 5	89,1 9	92,2 9	88,5 7	85,1 4	80,9 3	79,7 7	78,0 8	77,0 8	77,5 4	74,9 2	76,0 8	73,8 3	68,8 2	66,2 7	65, 1
	87,4 5	88,4 9	88,5 8	89,0 2	86,3 1	83,5 1	79,0 9	78,0 4	77,3	75,5 4	76,2 1	75,6 2	76,4 2	73,4 7	67,2 9	66,1 6	64, 1
	89,2 9	92,7 6	92,6 7	93,0 1	90,8 3	87,6 2	85,0 7	83,2 8	83,2 9	82,2 8	82,0 3	81,2 7	82,5 2	79,9 3	74,8 2	72,9 2	71, 5
NYLO N	89,0 6	90,8 3	90,1 5	91,4 4	88,5 7	85,4 2	81,7 0	80,3 6	79,5 6	78,3 0	78,5 9	77,2 7	78,3 4	75,7 4	70,3 1	68,4 5	67, 2
A5 (f)	0,76	2,17	2,21	2,13	2,26	2,07	3,06	2,67	3,26	3,53	3,05	3,48	1,81	3,63	3,98	3,87	4,2

NYLON	f (Hz)	cents	NYLON	f (Hz)	cents	NYLON
A3 (p)	219,47	-4,18	A3 (mf)	220,46	3,62	A3 (f)
	218,53	-11,61		220,29	2,28	
	218,44	-12,32		218,88	-8,84	
	218,81	-9		219,88	-1	
DE	0,57		DE	0,87		DE
A4 (p)	445,98	23,37	A4 (mf)	441,74	6,83	A4 (f)
	444,94	19,33		441,25	4,91	
	445,14	20,11		440,64	2,52	
	445,35	21		441,21	5	
DE	0,55		DE	0,55		DE
A5(p)	893,2	25,78	A5(mf)	889,08	17,77	A5(f)
	891,24	21,97		887,27	14,24	
	893,2	25,78		887,15	14,01	
	892,55	25		887,83	15	
DE	1,13		DE	1,08		DE

Grafito	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	53,9 5	55,9 9	56,6 1	54,7 7	56,5 3	55,4 4	51,7 1	47,1 6	40,6 4	36,5 3	32,2 2	25,5 3	27,9 9	25,8 2	28,6 7	24,7	20,3
	54,5 8	58,6	59,0 7	56,0 9	57,5 4	57,2 1	55,9	52,3	46,9 2	42,0 9	34,6 1	28,3 2	29,7 8	28,3	28,0 2	23,6 8	18,1
	56,4 8	58,9 6	61	60,1 4	61,8 6	60,6 8	59,3 6	56,5 3	52,0 8	49,5 1	47,2 1	41	36,1 1	31,5 9	28,1	25,4 3	23,3
GRAFITO	55,0 0	57,8 5	58,8 9	57,0 0	58,6 4	57,7 8	55,6 6	52,0 0	46,5 5	42,7 1	38,0 1	31,6 2	31,2 9	28,5 7	28,2 6	24,6 0	20,6
A3 (p)	0,66	1,62	2,20	2,80	2,83	2,67	3,83	4,69	5,73	6,51	8,05	8,25	2,13	2,89	0,35	0,88	2,5
	64,5 6	59,8 8	58,0 7	52,8 2	43,7 8	37,2 2	29,6 3	23,5 1	21,6 7	19	14,9 7	11,9	7,37	3,76	4,99	3,76	5,6
	66,7 6	64,5 9	64,0 5	59,6 9	54,0 8	48,6	40,0 6	35,9 1	34,1 1	25,0 7	20,2 1	17,9 2	14,2 1	11,6 1	10,9 4	6,87	7,0

	67,9 2	64,5 3	65,4 2	62,6 1	57,3 2	51,8 7	42,7 3	39,6	37,3 7	30,0 4	25,5 8	25,0 2	19,1 2	16,1	15,8 6	13,2 2	13,2 2
GRAFIT O	66,4 1	63,0 0	62,5 1	58,3 7	51,7 3	45,9 0	37,4 7	33,0 1	31,0 5	24,7 0	20,2 5	18,2 8	13,5 7	10,4 9	10,6 0	7,95	8,6
A4 (p)	0,85	2,70	3,91	5,03	7,07	7,69	6,92	8,43	8,29	5,53	5,31	6,57	2,95	6,25	5,44	4,82	4,0
	75,4 5	70,2 7	61,9 8	51,8 4	42,6 7	29,7 6	19,7 3	19,1 3	18,5 4	14,9 1	13,8 6	8,59	8,1	6,73	4,76	4,76	0,3
	78,3	73,0 8	62,7 3	52,1 6	38,8 9	36,1 2	18,3 7	18,3 7	18,6 4	18,8 5	15,8 6	13,2 4	9,82	9,41	7,24	4,32	3,2
	80,1	77,5 6	69,1 2	58,0 6	44,1 9	37,5 7	23,8 3	23,4 2	22,1 2	17,2	16,5 6	12,4 5	13,4 9	14,1 1	9,79	9,79	6,0
GRAFIT O	77,9 5	73,6 4	64,6 1	54,0 2	41,9 2	34,4 8	20,6 3	20,3 1	19,7 7	16,9 9	15,4 3	11,4 3	10,4 7	10,0 8	7,26	6,29	3,1
A5 (p)	1,17	3,68	3,92	3,50	2,73	4,15	2,85	2,72	2,04	1,98	1,40	2,49	1,38	3,74	2,52	3,04	2,9

Grafito	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	59,4 9	64,4 8	65,4 6	63,2	63,8 9	64,9 2	63,4 3	60,7 8	58,4 4	53,9 8	52,2	46,9 2	42,7 8	39,5 3	34,1 8	32,0 8	29,7 8
	59,3	63,0 5	63,1 9	62,3 1	63,7 8	62,3 9	61,4 3	59,1 2	57,5 5	55,0 3	52,5 5	48,1 3	43,2 3	40,4 3	32,2 1	32,3 2	27,7 1
	60,4 1	64,7 5	64,3 3	63,0 4	65,7 6	65,8 8	64,1 4	62,2 6	61,0 9	58,8	55,9	52,1 9	49,5 4	45,9 1	39,8 1	38,2 4	35,7 9
GRAFIT O	59,7 3	64,0 9	64,3 3	62,8 5	64,4 8	64,4 0	63,0 0	60,7 2	59,0 3	55,9 4	53,5 5	49,0 8	45,1 8	41,9 6	35,4 0	34,2 1	31,9
A3 (mf)	0,30	0,91	1,14	0,47	1,11	1,80	1,41	1,57	1,84	2,53	2,04	2,76	1,89	3,45	3,94	3,49	4,3
	73,7 9	72,1 4	73,1	72,3 5	69,6 4	66,2 2	58,2 8	49,6 3	51,0 6	48,7	42,4 4	33,1 2	23,1	22,0 2	24,0 6	17,6 7	15,7 7
	74,2 3	73,9 6	76,6 3	75,9 1	74,9 5	72,8 2	66,6 5	57,3 1	58,6 9	56,9 9	51,9 3	44,2 3	34,9 5	33,2 1	36,4	31,2 9	24,8 8
	74,1	74,2 7	77,0 2	76,9 3	75,6 7	74,2 3	69,0 2	61,7	60,1 1	58,9 3	55,9 4	53,5 5	46,3 9	39,5	36,1 3	34,6 2	35,4 4
GRAFIT O	74,0 4	73,4 6	75,5 8	75,0 6	73,4 0	71,0 9	64,6 5	56,2 1	56,6 2	54,8 7	50,1 0	43,6 3	34,8 1	31,5 8	32,2 0	27,8 6	25,6
A4 (mf)	0,11	1,15	2,16	2,40	3,27	4,28	5,64	6,11	4,87	5,43	6,93	10,2 3	5,82	8,85	7,05	8,98	9,7

	82,6	83,9 6	80,0 4	75,8 5	72,5 8	66,5 4	60,9 9	55,1 5	51,6	50,5 8	45,7 5	40,5 7	36,5 2	33,4	27,3 5	27,3 5	21 9
	83,6 7	87,3 4	84,5 5	79,8 7	74,5 3	68,4 8	62,3 6	57,4 9	54,4	51,8 5	50,7 2	46,0 9	40,5 3	35,2 4	29,8	25,4 5	21 6
	85,7 9	87,6 2	85,2 6	80,6 4	74,4 6	69,7 9	65,0 2	58,6 6	55,8 4	54,1 7	50,2 3	46,8 1	41,9 1	38,7 2	31,9 6	25,6 5	25 5
GRAFIT O	84,0 2	86,3 1	83,2 8	78,7 9	73,8 6	68,2 7	62,7 9	57,1 0	53,9 5	52,2 0	48,9 0	44,4 9	39,6 5	35,7 9	29,7 0	26,1 5	22 0
A5 (mf)	0,81	2,04	2,83	2,57	1,11	1,64	2,05	1,79	2,16	1,82	2,74	3,41	1,40	2,70	2,31	1,04	2,4

Grafito	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	70	76,2 9	79,1 8	79,1 4	81,8 1	82,2	80,5 3	80,4	78,7 6	80,1 9	79,5 7	78,2 8	79,7 7	79,1 5	79,5 4	76,3 9	75 75
	71,9 2	76,1 6	77,0 5	77,9 1	81,3 6	79,9 2	77,4	77,5 3	76,3 4	78,3 6	79,0 5	78,1 8	79,7 1	80,5 5	80,0 4	79,5 9	78 2
	72,9 5	78,8 1	81,1 8	79,9 7	82,4 2	82,2 4	80,2 7	80,2	78,4 3	79,7 3	80,5 1	79,8 5	82,1 9	82,9 5	83,0 8	83,6 7	82 3
GRAFIT O	71,6 2	77,0 9	79,1 4	79,0 1	81,8 6	81,4 5	79,4 0	79,3 8	77,8 4	79,4 3	79,7 1	78,7 7	80,5 6	80,8 8	80,8 9	79,8 8	78 2
A3 (f)	0,75	1,49	2,07	1,04	0,53	1,33	1,74	1,60	1,31	0,95	0,74	0,94	0,71	1,92	1,92	3,65	3,3
	83,0 1	84,5 1	85,1 5	84,5 8	85,0 3	85,3 7	85,3 6	86,2 4	85,3 9	81,7	79,5 3	79,5	76,5	76,2 1	76,6 9	74,7 8	73 8
	82,2	82,2 1	85,3 3	84,6 3	82,5 3	82,8 5	84,3 1	85,3 7	84,8 8	83	79,6 7	78,8 9	76,3 6	76,0 3	76,2 2	75,8 8	75 4
	82,6	84,0 4	87,5 7	87,6 5	87 87	88,1 7	89,5 5	89,9	89,5 3	86	81,8 9	81,3 6	78,4 9	79,0 8	78,5 1	76,8 6	76 8
GRAFIT O	82,6 0	83,5 9	86,0 2	85,6 2	84,8 5	85,4 6	86,4 1	87,1 7	86,6 0	83,5 7	80,3 6	79,9 2	77,1 2	77,1 1	77,1 4	75,8 4	75 3
A4 (f)	0,20	1,22	1,35	1,76	2,24	2,66	2,77	2,40	2,55	2,21	1,32	1,29	0,60	1,71	1,21	1,04	1,4
	90,1 6	93,0 9	94,4 4	91,8 5	88,1 9	85,5 2	80,2 2	78,6 3	76,9 6	77,0 7	75,7 3	73,4 9	71,4 2	69,8 3	64,6 4	61,1	59
	89,2 5	94,8 4	93,7 5	94,3 7	91,6 1	87,6 2	85,2 9	81,8 1	80,7 8	79,2 8	80,3 3	78,6 4	77,3 8	77,3 3	71,4 6	69,1 6	66 7
	91,4 9	91,9 1	93,0 8	91,5 9	86,7 5	86,0 2	82,4 9	80,9	80,6 4	80,2 9	79,3 4	77,2 6	74,8 3	73,6 7	69,2	64,8 2	64 6
GRAFIT O	90,3 0	93,2 8	93,7 6	92,6 0	88,8 5	86,3 9	82,6 7	80,4 5	79,4 6	78,8 8	78,4 7	76,4 6	74,5 4	73,6 1	68,4 3	65,0 3	63 1
A5 (f)	0,56	1,47	0,68	1,54	2,50	1,10	2,54	1,64	2,17	1,65	2,42	2,67	1,50	3,75	3,47	4,03	3,5

GRAFITO	f (Hz)	cents	GRAFITO	f (Hz)	cents	GRAFITO
A3 (p)	219,54	-3,62	A3 (mf)	220,81	6,36	A3 (f)
	220,33	2,59		220,88	6,91	

	220,39	3,07		221,06	8,32	
	220,09	1		220,92	7	
DE	0,47		DE	0,13		DE
A4 (p)	445,16	20,18	A4 (mf)	445,21	20,38	A4 (f)
	446,5	25,39		444,01	15,71	
	446,54	25,54		444,28	16,76	
	446,07	24		444,50	18	
DE	0,79		DE	0,63		DE
A5(p)	896,69	32,53	A5(mf)	896,52	32,20	A5(f)
	895,45	30,13		890,74	21,00	
	896,14	31,46		892,4	24,22	
	896,09	31		893,22	26	
DE	0,62		DE	2,98		DE

B

O
Q
U
I
L
L
A

D
E

G
R
A
N
A
D
I

Granadillo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	55,9 9	58,4 9	60,2 9	59,2 8	60,0 3	58,2 6	57,7 6	54,2 8	52,0 5	47,1 9	46,7 5	41,1 6	34,1 9	28,3 4	23,9 7	23,3 2	21,5 5
	55,9 3	60,0 7	61,7 7	60,5 1	61,7 4	60,9 6	59,3 8	56,1 5	52,2 9	49,7 1	48,6 1	44,6 5	39,3 7	33,1 6	27,7 1	23,4 1	20,4 4
	56,7 4	59,6 3	61,0 4	58,2 7	57,7 6	57,0 4	55,5 1	51,6 7	46,8 4	43,0 1	41,7 9	35,1 8	30,9 1	26,8 7	24,6 8	20,1 4	18,1 1
GRANADILLO	56,2 1	59,3 8	61,0 3	59,3 5	59,8 4	58,7 3	57,5 5	54,0 2	50,3 9	46,6 3	45,7 2	40,3 3	34,8 2	29,4 6	25,4 5	22,2 9	20,7 7
A3 (p)	0,23	0,80	0,74	1,12	2,00	1,97	1,94	2,23	3,08	3,38	3,53	4,79	2,13	3,29	1,98	1,86	1,60
	68,1 3	63,7 6	60,4 3	52,0 2	49,3 9	37,5 3	33,4 1	24,5 4	17,3 2	16,7 16,7	13,2 5	12,8 5	8,52 8,52	6,71 6,71	6,1 6,1	6,12 6,12	4,0 4,0
	69,0 7	66,9 7	63,4 1	60,8 9	57,1 7	47,2 9	34,3 3	32,3 9	25,7 2	20,5 3	18,1 8	17,3 6	15,4 5	14,1 5	8,67 8,67	6,54 6,54	8,8 8,8
	69,1 7	65,6 7	61,6 6	57,8 6	56,1 7	46,7 1	32,3 7	31,2 9	28,1 3	19,9 6	14,3 3	16,6 1	10,9 10,9	7,68 7,68	5,23 5,23	5,32 5,32	5,3 5,3
GRANADILLO	68,7 9	65,4 7	61,8 3	56,9 2	54,2 4	43,8 3	33,3 7	29,4 1	23,7 2	19,0 6	15,2 5	15,6 1	11,6 2	9,51 9,51	6,67 6,67	5,99 5,99	6,0 6,0
A4 (p)	0,29	1,61	1,50	4,51	4,23	5,49	0,98	4,25	5,67	2,07	2,59	2,42	1,76	4,04	1,79	0,62	2,40
	77,7 4	72,6 8	62,1 5	53,2 3	41,3 4	37,8 8	21,7 4	18,8 9	15,6 7	16,9 16,9	15,0 1	11,7 8	8,33 8,33	6,8 6,8	7,25 7,25	7,25 7,25	2,0 2,0
	79,6 1	76,4 2	65,0 6	56,7 2	46,1 7	40,1 5	29,7 7	29,4 2	22,6 4	20,9 7	19,2 1	17,1 7	14,2 8	10,9 5	8,34 8,34	7,24 7,24	4,2 4,2
	79,1 4	75,9 9	65,5 6	56,3 5	45,4 2	41,6 5	25,4 4	23,0 6	17,4 5	20,0 5	15,3 9	12,5 9	9,55 9,55	11,3 6	8,98 8,98	8,98 8,98	6,0 6,0
GRANADILLO	78,8 3	75,0 3	64,2 6	55,4 3	44,3 1	39,8 9	25,6 5	23,7 9	18,5 9	19,3 1	16,5 4	13,8 5	10,7 2	9,70 9,70	8,19 8,19	7,82 7,82	4,3 4,3
A5 (p)	0,49	2,05	1,84	1,92	2,60	1,90	4,02	5,30	3,62	2,13	2,32	2,91	1,57	2,52	0,87	1,00	2,30

Granadillo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

	58,5 7	62,9 5	63,4 8	61,1 2	63,6 3	63,4 3	61,6 1	59,1 2	56,6 6	54,3 3	50,3 4	44,1 6	37,2 2	34,7 5	31,2 1	27,5 7	30,6 6
	58,2 7	60,9 6	63,2 9	61,2 9	61,9 9	62,4 6	59,9 1	58,9 2	55,8 2	54,3 2	51,1 2	48,8 4	43,9 8	38,1 3	34,5 8	29,6 2	30,6 6
	60,0 5	63,8 6	63,8 5	63,7 6	66,1 5	65,1 5	62,9 4	61,2 3	59,4 4	58,7 1	57,9 8	53,3 2	47,6 2	42,2 7	39,2 6	37,8 5	36,9 9
GRANADILLO	58,9 6	62,5 9	63,5 1	62,0 6	63,9 1	63,6 8	61,4 9	59,7 6	57,3 1	55,7 9	53,1 5	48,7 7	42,9 4	38,3 8	35,0 2	31,6 8	32,4 4
A3(mf)	0,48	1,48	0,33	1,48	2,10	1,36	1,52	1,28	1,89	2,53	4,20	4,58	2,64	3,77	4,04	5,44	3,6
	73,4 8	70,5 2	71,8 1	69,8 4	67,9 9	65,1 4	57,5 2	48,6 7	48,2 1	45,7 1	41,4 3	38,2 4	31,5 5	26,5 2	22,4 2	17,8 8	17,5 5
	74,6 6	74,7 8	76,4 8	74,5 8	71,9 5	68,7 6	61,2 9	53,9 4	52,7 6	50,6 4	45,7 3	41,8 4	34,5 2	30,7 2	26,4 4	23,7 22	22,2
	72,4 3	73,3 6	75,2 1	73,5 9	70,4 8	68,1 6	63,2 7	55,2 9	53,8 8	51,6 8	48,4 8	44,9 8	36,8 8	32,3 7	28,7 5	25,7 7	24,4 4
GRANADILLO	73,5 2	72,8 6	74,5 0	72,6 7	70,1 4	67,3 5	60,6 9	52,6 3	51,6 2	49,3 2	45,2 1	41,6 9	34,3 2	29,8 7	25,8 7	22,4 5	21,0 0
A4(mf)	0,56	2,13	2,41	2,50	2,00	1,94	2,92	3,50	3,00	3,16	3,55	3,37	1,34	3,02	3,20	4,09	3,7
	82,3 9	81,7 8	75,4 6	70,6 3	64,8 9	57,0 2	51,6 7	45,0 4	42,0 6	37,0 5	31,7 1	26,1 1	21,6 19,2	11,5 3	14,2 4	14,4 4	14,4
	83,7 6	84,5 6	80,2 3	73,9 7	67,8 9	62,9 6	56,0 5	50,9 6	46,5 1	43,5 8	39,4 1	30,7 5	24,3 3	23,1 7	19,8 1	20,1 20	20,1
	84,4 4	88,6 8	83,8 7	78,7 9	72,7 3	66,1 7	60,9 7	55,5 1	52,8 2	50,6 5	46,0 1	40,9 2	36,4 7	31,9 9	25,7 3	22,0 2	22,2
GRANADILLO	83,5 3	84,9 8	79,8 5	74,4 5	68,4 8	62,0 7	56,2 1	50,5 1	47,1 2	43,7 6	39,0 6	32,5 9	27,4 7	24,7 9	19,0 2	18,7 9	18,9 9
A5(mf)	0,52	3,51	4,22	4,12	3,98	4,60	4,68	5,23	5,42	6,80	7,14	7,58	3,96	6,55	7,13	4,05	4,0

Granadillo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	69,9 8	74,8 1	76,5 4	77,2 6	79,7 7	80,0 5	79,2 8	78,5 8	75,8 6	79,3 3	77,8 2	77,5 2	77,5 9	77,9 6	78,8 3	77,2 4	77,8 8
	72,0 5	75,7 9	78,0 4	76,7 8	81,2 4	81,6 7	80,5 9	79,8 6	77,8 6	78,3 1	79,7 6	78,8 78,8	80,8 4	80,9 80,9	79,8 79,8	78,4 1	78,5 5
	73,2 2	79,1 6	80,1 6	77,5 7	80,6 5	81,1 8	79,4 5	79,7 5	80,6 3	82,4 9	81,9 7	80,3 8	80,8 1	81,4 7	81,9 81,9	80,7 4	80,6 6
GRANADILLO	71,7 5	76,5 9	78,2 5	77,2 0	80,5 5	80,9 7	79,7 7	79,3 7	78,1 2	80,0 4	79,8 5	78,9 0	79,7 5	80,1 1	80,1 8	78,8 0	78,3 3
A3 (f)	0,82	2,28	1,82	0,40	0,74	0,83	0,71	0,76	2,40	2,18	2,08	1,43	0,93	1,88	1,57	1,78	1,7
	82,8 9	83,5 9	86,9 9	87,3 3	86,8 1	87,3 9	87,5 9	87,2 7	86,1 9	82,8 1	80,5 80,5	79,9 9	77,1 3	77,8 5	76,9 1	74,9 1	74,8 8
	83 83	85,5 1	87,6 1	85,7 5	84,8 5	85,6 4	87,3 3	86,4 2	83,8 3	80,8 3	78,5 2	78,1 8	75,2 8	74,7 3	74,7 9	72,6 1	72,1 1
	84,4	86,4	89,0	88,9	88,8	89,4	90,0	89,4	88,9	85,3	81,4	80,0	77,1	77,4	77,5	76,1	76,1

	2	7	6	5	3		8	9	1	5	3	3	4	9		4	7
	83,4	85,1	87,8	87,3	86,8	87,4	88,3	87,7	86,3	83,0	80,1	79,4	76,5	76,6	76,4	74,5	74,5
GRANADILLO	4	6	9	4	3	8	3	3	1	0	5	0	2	9	0	5	5
A4 (f)	0,43	1,52	1,06	1,60	1,99	1,88	1,52	1,59	2,54	2,27	1,49	1,06	0,54	1,71	1,43	1,79	2,0
	88,5	92,1	91,6	89,3	85,6	82,7	79,6		76,3	75,2		71,9	71,5	70,6	66,4	62,0	61
		4	4	7	9	3	4	76	4	7	73,8	4	5	8	4	7	3
	90,3	91,9	92,4	91,3	89,7	85,8	83,4	80,6	80,0	77,3	78,7	76,1	75,5	74,7	68,9	66,8	64
	1	4	4	7	1	4	2	6	1	3	8	8	9	5	8	8	2
	91,3	94,9	94,8	93,5	90,9	88,4	84,2	83,2	81,0	82,8	81,6	77,9	77,7	77,4	72,7	68,8	65
		7	6	8	3	6	9	4	9	4	6	9	6	2	5	3	2
GRANADILLO	90,0	93,0	92,9	91,4	88,7	85,6	82,4	79,9	79,1	78,4	78,0	75,3	74,9	74,2	69,3	65,9	64
	4	2	8	4	8	8	5	7	5	8	8	7	7	8	9	3	2
A5 (f)	0,71	1,69	1,68	2,11	2,74	2,87	2,47	3,67	2,49	3,91	3,98	3,11	1,58	3,39	3,17	3,48	2,0

GRANADILLO	f (Hz)	cents	GRANADILLO	f (Hz)	cents	GRANADILLO
A3 (p)	220,82	6,44	A3 (mf)	220,82	6,44	A3 (f)
	219,76	-1,89		221,16	9,10	
	220,25	1,97		221,13	8,87	
	220,28	2		221,04	8	
DE	0,53		DE	0,19		DE
A4 (p)	445,29	20,69	A4 (mf)	445,04	19,72	A4 (f)
	445,82	22,75		444,24	16,60	
	445,66	22,13		443,09	12,12	
	445,59	22		444,12	16	
DE	0,27		DE	0,98		DE
A5(p)	897,31	33,72	A5(mf)	897,38	33,86	A5(f)
	898	35,05		894,9	29,07	
	897,35	33,80		895,21	29,67	
	897,55	34		895,83	31	
DE	0,39		DE	1,35		DE

B

O
Q
U
I
L

P.Violet a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	54,0 6	55,4 4	52,8 9	50,6 1	49,9 3	47,8 5	42,7 6	36,9 3	34,8 9	30,6 7	24,7 2	22,2 9	19,5 7	18,4 9	19,1 4	16,0 6	14,7 7
	52,6 9	53,4 3	54,2 4	52,7 8	52,9 2	51,2 2	47,5 4	42,5 9	38,2 6	30,7 7	28,7 8	27,3 8	26,3 5	25,1 5	24,2 6	22,0 4	16,4 4
	55,6 3	58,3 3	58,2 6	54,7 7	56,8 8	53,8 8	49,7 3	43,9 5	41,3 6	35,7 3	26,8 8	25,9 1	24,5 9	25,2 9	24,3 4	24,0 4	20,7 20
P.Violet a	54,1 2	55,7 3	55,1 3	52,7 2	53,2 2	50,9 8	46,6 6	41,1 6	38,1 7	32,3 9	26,7 9	25,1 9	23,5 0	22,9 8	22,5 7	20,7 1	17,7 7
A3 (p)	0,73	2,46	2,79	2,08	3,44	3,02	3,56	3,72	3,24	2,89	2,03	2,62	1,76	3,89	2,97	4,15	3,3
	69,2 6	69,3 9	70,5 1	65,4 2	60,9 4	54,1 2	42,7 4	35,6 1	35,7 35,7	31,9 6	26,7 7	21,7 2	16,7 9	11,2 6	6,71	11,3 8	8,5
	69,3 3	67,6 7	66,9 6	60,5 3	55,8 2	48,0 4	40,0 9	35,0 9	31,8 6	27,6 8	25,9 3	22,3 9	18	15,1 4	11,8 8	6,38	9,4
	65,5 3	64,9 4	63,9 4	58,1 8	54,6 3	47,3 8	36,7 8	31,2 8	31,2 4	23,8 8	20,3 7	20,1 2	18,8 3	12,6 3	14,4 3	6,68	6,9
P.Violet	68,0	67,3	67,1	61,3	57,1	49,8	39,8	33,9	32,9	27,8	24,3	21,4	17,8	13,0	11,0	8,15	8,3

a	4	3	4	8	3	5	7	9	3	4	6	1	7	1	1		
A4 (p)	1,09	2,24	3,29	3,69	3,35	3,72	2,99	2,36	2,42	4,04	3,48	1,17	0,51	1,97	3,93	2,80	1,2
	77,2 3	70,1 7	60,5 3	49,1 8	38,4 7	30,6 8	17,6 8	16,6 9	15,1 7	14,1 7	16,4 1	8,32 8,61	8,61 7,44	7,44 3,51	3,51 3,51	2,9	2,9
	78,2	76,4	65,2 9	55,0 9	40,6 4	39,0 4	27,3 4	18,4 6	21,5 5	17,2	13,8 2	10,4 5	6,47	12,2 5	11,7 4	8,31	8,3
	79,0 4	75,2 3	63,9 1	53,9 7	39,1 8	32,7 5	26,9 3	15,7 7	16,1 1	16,5 4	13,3	11,1 5	7,91	6,32	6,48	6,48	5,2
P.Violet a	78,1 6	73,9 3	63,2 4	52,7 5	39,4 1	34,1 5	23,9 8	16,9 7	17,6 1	15,9 7	14,5 1	9,97	7,66	8,67	7,24	6,10	5,5
A5 (p)	0,45	3,31	2,45	3,14	1,14	4,36	5,46	1,37	3,44	1,59	1,67	1,47	0,55	3,15	4,17	2,42	2,8

P.Violet a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	58,8 4	62,9 6	63,4 4	61,0 5	62,6 9	62,1 4	59,5 6	54,4 7	50,8 9	46,9 3	42,9 3	39,2	36,6 7	32,6 3	28,5 1	26,8	24,4
	57,8 9	62,8 7	63,9 1	62,8 8	64,9 4	63,2 1	59,1 5	54,9	52,3 5	48,4 7	43	39,8	37,6 3	31,1 8	31,1 4	24,4 5	21,3
	58,9 3	61,4 2	64,0 9	62,9 4	64,5 7	64,3 3	60,7 9	56,3 8	55,1 7	52,3	48,2 9	41,9 7	38,3	36,1 2	35,4 4	30,7 2	25,3
P.Violet a	58,5 5	62,4 2	63,8 1	62,2 9	64,0 7	63,2 3	59,8 3	55,2 5	52,8 0	49,2 3	44,7 4	40,3 2	37,5 3	33,3 1	31,7 0	27,3 2	24,4 7
A3 (mf)	0,29	0,86	0,34	1,07	1,21	1,10	0,85	1,00	2,18	2,77	3,07	1,46	0,41	2,54	3,50	3,17	1,9
	73,4 1	70,3 9	74,0 3	71,0 4	68,8 3	64,7 8	59	51,3	48,5 1	46,8 7	41,2 3	37,9 2	32,1 3	24,6	21,3 3	24,9 8	23,3
	73,1 3	71,2 9	72,0 2	68,8 3	64,9 6	60,0 8	53,3 3	43,7 2	43,3 7	40,2 2	33,4 3	28,6 1	22,9 5	20,0 7	17,5 3	16,2 7	16,2
	74,9 4	75,0 7	76,4	73,3 4	70,5 6	69,0 2	63,1 6	54,0 2	52,2 5	48,9 2	44,8 5	41,2 2	35,4 2	32,2 3	28	23,3 3	21,3
P.Violet a	73,8 3	72,2 5	74,1 5	71,0 7	68,1 2	64,6 3	58,5 0	49,6 8	48,0 4	45,3 4	39,8 4	35,9 2	30,1 7	25,6 3	22,2 9	21,5 3	20,3 4
A4 (mf)	0,49	2,48	2,19	2,26	2,87	4,47	4,93	5,34	4,46	4,55	5,84	6,54	3,23	6,15	5,30	4,63	3,7
	82,8 8	84,8 9	77,6 3	72,4	65,4 2	58,0 3	51,0 3	45	38,5 8	35,9 1	31,8 5	24,5	22,7	21,6 1	18,6 2	15,6 2	14,4

	83,6 7	84,2 4	78,7 8	73,8 3	66,5 5	58,2 7	53,5 7	45,4 3	42,5	37,6 8	32,6 9	28,1 8	25,8 4	25,4 7	17,9 2	17,1	12 2
	84,3 4	86,5 4	79,9 2	75,1 1	70,3 4	65,1 1	57,8 4	51,9 2	47,5	45,4 1	41,7 7	34,4 7	30,9 5	29,5 3	26,8	22,7 2	22 2
P.Violet a	83,6 3	85,2 2	78,7 8	73,7 8	67,4 4	60,4 7	54,1 5	47,4 5	42,8 6	39,6 7	35,4 4	29,0 5	26,5 0	25,5 4	21,1 1	18,4 8	16 8
A5 (mf)	0,37	1,19	1,15	1,36	2,58	4,02	3,44	3,88	4,47	5,05	5,50	5,04	2,08	3,96	4,94	3,75	5,4

P.Violet a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	68,0 1	74,1 5	76,1 6	75,1 3	77,1 3	76,3 9	76,9 6	75,2 2	74,9 1	75,4 4	75,3 1	74,1 6	74,7 6	74,3 2	75,2 9	73,0 8	70 6
	71,7 1	75,8 4	78,5 5	78,6 1	81,2 7	81,0 2	79,6 3	79,2 3	78,0 7	79,0 1	79,5 8	78,1 9	79,6 6	80,9 1	80,3 2	80,0 2	79 4
	71,5 2	77,1 6	77,7 6	78,8 3	84,0 6	81,1 7	80,1 2	80,2 2	79,1 5	80,8 4	80,2 9	80,3 5	82,4 5	82,7 1	83,0 7	81,5 2	81 4
P.Violet a	70,4 1	75,7 2	77,4 9	77,5 2	80,8 2	79,5 3	78,9 0	78,2 2	77,3 8	78,4 3	78,3 9	77,5 7	78,9 6	79,3 1	79,5 6	78,2 1	77 1
A3 (f)	1,04	1,51	1,22	2,08	3,49	2,72	1,70	2,65	2,20	2,75	2,69	3,14	1,95	4,42	3,95	4,50	5,8
	83,2 3	83,2 3	85,5 3	83,5 2	83,8 3	83,5 7	84,4 9	85,3 4	83,2 2	81,2 7	77,7 8	76,9 8	75,0 6	74,0 8	73,6 7	73,2	72 3
	81,8 6	83,2 9	83,8 9	83,4 9	83,2 7	83,2 5	84,7 6	84,1 7	83,5	81,3 3	78,2 2	77,6 5	75,5 4	75,4 1	75,2 8	73,7 1	73 3
	81,7 6	83,4 2	85,9 2	85,5 3	86,2 1	85,6 8	86,8 9	86,9 4	85,0 4	83,0 5	79,7 6	79,8 6	77,2 5	76,7 9	77,1 4	74,9 2	75 4
P.Violet a	82,2 7	83,3 1	85,1 1	84,1 8	84,4 4	84,1 7	85,3 8	85,4 8	83,9 2	81,8 8	78,5 9	78,1 6	75,9 5	75,4 3	75,3 6	73,9 4	74 9
A4 (f)	0,40	0,10	1,08	1,17	1,56	1,32	1,31	1,39	0,98	1,01	1,04	1,51	0,58	1,36	1,74	0,88	1,4
	87,8 3	90,8 9	90,5 8	89,0 3	86,5 6	82,1 8	79,5 8	76,1 7	74,6 4	71,5 2	73,3 1	71,9 8	71,6 3	69,8 8	65,6 7	62,1 2	59 4
	90,4 8	92,7 5	90,9 8	90,9 4	89,1 4	85,2 7	82,0 2	79,1 5	78,3 7	77,2 8	77,1 2	75,8 3	76,3 5	74,3 3	69,6 5	66,5 3	63 7
	92,6 6	95,7 4	94,0 5	93,5 8	90,2 7	86,3 4	84,6 5	81,8 9	79,6	77,9 5	78,6 2	76,5	75,5 9	75,9 4	71,6 4	67,7 5	65 6
P.Violet a	90,3 2	93,1 3	91,8 7	91,1 8	88,6 6	84,6 0	82,0 8	79,0 7	77,5 4	75,5 8	76,3 5	74,7 7	74,5 2	73,3 8	68,9 9	65,4 7	63 6
A5 (f)	1,21	2,45	1,90	2,28	1,90	2,16	2,54	2,86	2,58	3,53	2,74	2,44	1,27	3,14	3,04	2,96	2,9

PALO VIOLETA	f (Hz)	cents	PALO VIOLETA	f (Hz)	cents	PALO VIOLETA
A3 (p)	218,97	-8,12	A3 (mf)	218,85	-9,07	A3 (f)
	217,1	-22,97		218,1	-15,02	
	217,89	-16,68		218,26	-13,75	

	217,99	-16		218,40	-13	
DE	0,94		DE	0,40		DE
A4 (p)	441,15	4,52	A4 (mf)	445,25	20,53	A4 (f)
	442,33	9,14		444,3	16,84	
	441,84	7,22		442,9	11,37	
	441,77	7		444,15	16	
DE	0,59		DE	1,18		DE
A5(p)	896,09	31,37	A5(mf)	893,91	27,15	A5(f)
	894,08	27,48		891,12	21,74	
	895,47	30,17		892,15	23,74	
	895,21	30		892,39	24	
DE	1,03		DE	1,41		DE

BOQUI
LLA DE
OLIVO

Olivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	51,3 3	54,0 4	54,5 6	51,9 6	51,2 6	50,7 4	48,4 5	45,4 5	41,2 4	37,5 4	35,7 1	31,5 4	25,4 1	20,0 3	20,1 1	20,2 20,2	17, 3
	54,4 5	58,1 6	58,5 7	57,1 57,1	56,1 7	54,7 1	52,1 9	48,8 7	45,5 2	40,2 6	33,2 7	27,5 8	24,3 5	23,4 7	19,8 1	15,3 1	13, 7
	55,1 4	54,8 9	59,1 7	57,5 57,5	56,5 8	57,7 4	55,1 9	51,8 6	47,4 7	43,4 2	41,8 3	37,5 1	34,8 7	31,2 7	30,1 5	28,4 1	23, 9
OLIVO	53,6 4	55,7 0	57,4 3	55,5 2	54,6 7	54,4 0	51,9 4	48,7 3	44,7 4	40,4 1	36,9 4	32,2 1	28,2 1	24,9 2	23,3 6	21,3 1	17, 0
A3 (p)	1,02	2,18	2,51	3,09	2,96	3,51	3,38	3,21	3,19	2,94	4,41	5,00	2,90	5,76	5,89	6,62	5,2
	66,6 4	63,8 7	62,7 5	60,3 2	53,9 5	46,4 1	40,7 8	32,7 1	35,0 9	25,6 5	16,9 4	19,1 5	14,8 14,8	13,6 2	9,55 9,55	7,23 7,23	8,1 8,1
	66,2 4	63,9 1	61,9 2	57,6 9	51,9 7	45,1 1	32,6 7	28,9 5	28,1 2	16,5 1	17,6 2	15,1 9	8,88 8,88	7,74 7,74	6 6	2,1 2,1	4,1 4,1
	68,4	66,7 8	65,1 2	64,2 7	59,4 4	52,0 1	40,6 5	33,9 9	35,8 35,8	31,5 5	22,4 22,4	20,1 4	15,9 9	14,0 7	10,6 10,6	8,34 8,34	8,9 8,9
OLIVO	67,0 9	64,8 5	63,2 6	60,7 6	55,1 2	47,8 4	38,0 3	31,8 8	33,0 0	24,5 7	18,9 9	18,1 6	13,2 2	11,8 1	8,72 8,72	5,89 5,89	7,0 7,0
A4 (p)	0,57	1,67	1,66	3,31	3,87	3,67	4,65	2,62	4,24	7,58	2,98	2,62	1,90	3,53	2,41	3,33	2,6

	73,0 7	66,1 8	56,6 3	43,6 1	30,0 4	19,7 8	17,7	17,5 1	10,3 5	9,59	7,52	6,46	3,48	3,88	0,35	0,22	-0,2
	76,6 9	75,3 2	63,0 8	52,0 7	41,4 7	31,4 2	24,8 2	20,5 8	15,2 7	17,2 7	11,5 9	6,99	6,19	7,12	3,7	1,51	1,3
	78,7 3	74,7 7	64,3 3	53,7 4	36,5 7	36,6 6	21,1 7	16,4 9	16,7 6	14,5 8	11,4 2	8,99	7,09	8,57	1,75	1,75	1,3
OLIVO	76,1 6	72,0 9	61,3 5	49,8 1	36,0 3	29,2 9	21,2 3	18,1 9	14,1 3	13,8 1	10,1 8	7,48	5,59	6,52	1,93	1,16	0,8
A5 (p)	1,43	5,13	4,13	5,43	5,73	8,64	3,56	2,13	3,35	3,90	2,30	1,33	0,94	2,40	1,68	0,82	0,9

Olivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	60,6 7	64,2 5	64,0 3	63,3 6	66,0 4	63,5 3	64,4 9	62,8	60,6 8	59,1 1	58,1 6	54,6	51,3	45,8 5	44,3 6	42,4 3	40,8
	62,5 2	67,2 6	67,2 7	66,1 5	69,8 4	68,5 8	68,0 8	64,7 9	64,7 2	63,6 3	61,6 4	61,6 1	60,6 1	56,5 1	54,1 3	47,8 8	46,9
	63,5 7	68,9 6	70,6 1	69,2 5	72,2 8	70,6 1	70,4	66,9 5	65,7 5	66,0 4	65,5 6	64,6 5	62,9 4	60,2 6	57,6 1	51,8 9	48,1
OLIVO	62,2 5	66,8 2	67,3 0	66,2 5	69,3 9	67,5 7	67,6 6	64,8 5	63,7 2	62,9 3	61,7 9	60,2 9	58,2 8	54,2 1	52,0 3	47,4 0	45,6
A3(mf))	0,73	2,39	3,29	2,95	3,14	3,65	2,98	2,08	2,68	3,52	3,70	5,15	3,08	7,48	6,87	4,75	4,1
	75,4 3	72,8 6	75,9 6	75,7 4	72,7 1	72,8 9	69,6 7	63,3	61,6 8	60,0 9	56,1 5	55,2 8	50,1 6	47,3 4	44,5 1	40,6 7	41,4
	77,5 5	77,9 4	79,9 6	80,1 2	78,8 4	77,3 7	74,2 3	69,3 8	66,9 9	64,9 6	62	60,4 1	55,8 4	54,5 9	51,1 4	48,0 4	48,3
	76,6 8	76,7 8	77,2 6	78,4	78,1 9	77,4 2	74,0 7	68,5 9	66,5 7	64,1	61,0 3	61,3 8	56,5 6	53,4 4	49,8	47,8 1	48,1
OLIVO	76,5 5	75,8 6	77,7 3	78,0 9	76,5 8	75,8 9	72,6 6	67,0 9	65,0 8	63,0 5	59,7 3	59,0 2	54,1 9	51,7 9	48,4 8	45,5 1	45,6
A4(mf))	0,53	2,66	2,04	2,21	3,37	2,60	2,59	3,31	2,95	2,60	3,14	3,28	1,75	3,90	3,51	4,19	4,1
	81	82,0 8	75,7 7	69,8 9	61,3 8	54,8	47,3 8	39,1 4	33,2 7	29,3 7	24,6 4	15,7 1	15,6 2	15,6 6	13,8 4	13,5 5	13,3
	81,6 2	81,9 6	76,1 4	68,1 8	60,7 3	55,2 5	47,8 5	39,4	32,6 7	26,6 7	24,2 4	17,4 5	17,9	16,9 7	12,4	11,7 2	11,2

	82,1 9	85,5 2	77,9 7	71,7 2	64,6 1	57,9 2	50,1	42,8 9	38,0 2	34,1	31,8 5	21,7 1	21,0 5	15,4 3	11,4 8	12,6 7	12,7 7
OLIVO	81,6 0	83,1 9	76,6 3	69,9 3	62,2 4	55,9 9	48,4 4	40,4 8	34,6 5	30,0 5	26,9 1	18,2 9	18,1 9	16,0 2	12,5 7	12,6 5	12,7 7
A5(mf))	0,30	2,02	1,18	1,77	2,08	1,69	1,45	2,09	2,93	3,76	4,28	3,09	1,36	0,83	1,19	0,92	0,8

Olivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	72,5 7	77,7 5	78,8 9	78,4 5	82,6 8	81,0 2	78,9 6	79,2 4	77,0 3	78,4 7	79,2 2	76,9 9	78,3 3	78,1 6	79,9 3	76,8 5	75,5 7
	73,4	78,6 1	79,4 7	79,9 8	83,5 8	81,5 5	79,2 3	79,3 2	77,4 9	77,7	78,2 2	77,5 1	78,5 6	77,9 9	78,6 8	77,2 7	77,5 5
	74,1 1	79,4 1	79,8 7	79,3 7	83,5 3	83,2 8	81,8 7	81,2 8	78,9 3	80,5 7	80,5 6	79,0 8	79,1 8	79,9 2	80,8 8	79,5 1	78,5 6
OLIVO	73,3 6	78,5 9	79,3 9	79,2 7	83,2 4	81,9 5	80,0 2	79,9 5	77,8 2	78,9 1	79,3 3	77,8 6	78,6 9	78,6 9	79,8 3	77,8 8	77,5 4
A3 (f)	0,39	0,83	0,46	0,77	0,48	1,18	1,61	1,16	0,99	1,49	1,17	1,09	0,22	1,07	1,10	1,43	1,4
	83,0 7	82,1 9	84,9 6	84,2 8	84,8 3	83,9 8	83,1 8	82,7 4	79,8 9	77,5 2	73,9 1	73,8	70,6	8	70,5	67,1	68,5 2
	80,0 9	80,9 1	84,4 7	85,6 8	84,7 4	84,7 2	85,1 2	83,8 7	82,5 1	79,1	75,9	75,7 9	72,7 3	73,0 8	71,8 4	71,8 4	69,5 7
	84,0 9	84,9 9	86,8 4	89,3 7	89,3 1	88,3 8	86,4 6	87,2 4	87,0 3	83,4 7	78,7 7	79,7 6	76,6 8	77,0 1	75,6 7	73,7 8	74,5 2
OLIVO	82,4 2	82,7 0	85,4 2	86,3 9	86,2 8	85,6 7	84,8 9	84,6 2	83,1 1	80,0 3	76,1 9	76,4 5	73,3 4	73,6 6	72,6 7	70,9 1	70,5 7
A4 (f)	1,04	2,09	1,25	2,67	2,62	2,39	1,69	2,34	3,65	3,08	2,44	3,03	1,54	3,11	2,68	3,44	3,1
	93,3 5	96,0 3	94,0 1	91,4 1	89,4 3	86,8 7	82,2 5	79,5	78,4 2	77,9 3	76,1 2	72,4 1	70,6 1	68,5 4	64,8 9	60,1 2	60,5 2
	91,2 5	93,9 9	92,0 7	90,1 2	87,2 3	84,7 5	81,2 2	77,1	76,2 7	77,1 2	74,1 6	71,1 3	69,3	67,6 4	63,0 6	58,9 1	58,5 1
	94,1 4	98,9 9	97,6 8	96,7 6	93,7 4	90,9 4	87,2 4	84,1 3	83,2 6	83,7	81,9 6	79,2 9	77,7 4	76,9 5	72,9 5	68,5 1	68,5 1
OLIVO	92,9 1	96,3 4	94,5 9	92,7 6	90,1 3	87,5 2	83,5 7	80,2 4	79,3 2	79,5 8	77,4 1	74,2 8	72,5 5	71,0 4	66,9 7	62,5 1	62,5 1
A5 (f)	0,75	2,51	2,85	3,52	3,31	3,15	3,22	3,57	3,58	3,59	4,06	4,39	2,27	5,14	5,26	5,23	5,2

OLIVO	f (Hz)	cents	OLIVO	f (Hz)	cents	OLIVO
A3 (p)	220,52	4,09	A3 (mf)	220,96	7,54	A3 (f)
	221,07	8,40		220,97	7,62	
	220,61	4,79		221,3	10,20	
	220,73	6		221,08	8	
DE	0,30		DE	0,19		DE

A4 (p)	445,85	22,87	A4 (mf)	443,04	11,92	A4 (f)
	446,56	25,62		445,04	19,72	
	446,35	24,81		444,47	17,50	
	446,25	24		444,18	16	
DE	0,36		DE	1,03		DE
A5(p)	896,6	32,35	A5(mf)	893,29	25,95	A5(f)
	893,34	26,05		894,16	27,64	
	895,97	31,14		896,08	31,35	
	895,30	30		894,51	28	
DE	1,73		DE	1,43		DE

BOQUILLA DE LATÓN

Latón	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	54,9	57,9	58,8	56,5	57,6	54,6	52,2	46,9	45,0	39,4	41,4	34,7	29,1	25,2	22,8	21,1	18,7
	7	4	8	1	1	9	8	4	4	2	9	9	5	6	4	2	18,7
	56,9	60,4	61,1		59,6	58,2	57,9	54,4	50,3	46,3	45,1	40,1	36,3	31,0	29,9	26,0	21,1
	5	8	9	58,6	6	7	6	1	1	1	4	6	7	6	8	6	4
	56,8	60,0		58,5	59,6	57,4	56,1	52,7	48,2	45,1	42,3	37,7	35,4	31,1	28,2	23,4	18,7
	3	2	61,4	6	3	4	5	4	5	8	9	4	6	6	9	1	8
LATÓN	56,2	59,4	60,4	57,8	58,9	56,8	55,4	51,3	47,8	43,6	43,0	37,5	33,6	29,1	27,0	23,5	19,7
	5	8	9	9	7	0	6	6	7	4	1	6	6	6	4	3	4
A3 (p)	0,56	1,35	1,40	1,20	1,18	1,87	2,90	3,92	2,66	3,70	1,90	2,69	1,97	3,38	3,73	2,47	1,7
	68,9	67,2		60,2	55,7	48,4	36,5	33,5		19,1	18,0	17,9	12,5	11,6	10,3	10,3	
	9	8	65,6	5	1	1	8	2	34,8	6	5	7	2	4	6	6	9,0
	68,9	65,7	65,4	59,9	55,9	46,2	39,4	30,3		21,2	21,4	18,0	13,8	11,3			
	6	3	8	7	6	7	7	8	32,4	3	2	9	1	4	7,58	8,46	8,4
	70,0		67,5	64,5	62,0	54,2	37,8	40,4	40,2	34,6	27,7	22,6	16,2	15,7	14,9		
	7	67,1	7	2	5	8	3	4	5	4	7	9	3	1	9	9,71	9,7
GRAFIT	69,3	66,7	66,2	61,5	57,9	49,6	37,9	34,7	35,8	25,0	22,4	19,5	14,1	12,9	10,9		
	4	0	2	8	1	5	6	8	2	1	1	8	9	0	8	9,51	9,0
A4 (p)	0,32	0,85	1,17	2,55	3,59	4,15	1,45	5,15	4,02	8,40	4,94	2,69	0,94	2,44	3,74	0,97	0,6
			71,0	60,0	52,9	42,2	32,8	27,5	23,7	20,7	17,2	10,2			11,2	11,2	
	80,7	79,2	7	4	3	9	9	7	2	2	1	9	6,84	7,93	4	4	8,2
	80,3	78,8	71,0		52,0	41,7	33,5	25,4	26,5	22,4		10,9	12,5	10,8			
	2	8	5	60,4	7	8	7	9	6	7	14,5	4	8	6	9,99	9,99	6,8
	81,0	78,3	70,0	58,9	46,6	42,1	29,1	21,5	21,3	18,0	15,4	13,4	8,97	9,43	9,52	9,52	6,8

Latón	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	70,2 5	74,3 8	74,9 9	77,7 5	81,3 8		79,1 5		78,4 5	79,6 9	78,8 2	78,3 4	79,1 7	79,2 9		78,3 6	78,3 2
	71,6 4	77,0 1	77,8 4	77,7 3	80,8 8	79,1 2		76,7 77,5	77,7 1	80,1 7	79,9 6	77,7 6	79,6 2		80,5 6	80,1 6	81,3 7
	71,0 3	74,9 4	77,4 2	76,4 9	80,2 4	77,7 8	77,5 7	75,8 5	75,9 1	77,5 5	78,3 1	76,5 2	78,5 1	77,4 6	79,1 7	78,3 9	79,1 5
LATÓN	70,9 7	75,4 4	76,7 5	77,3 2	80,8 3	78,6 0	78,0 7	77,2 5	77,3 8	79,1 4	79,0 3	77,5 4	79,1 0	79,3 5	80,1 8	78,9 7	79,1 1
A3 (f)	0,35	1,39	1,54	0,72	0,57	0,72	0,93	1,74	1,32	1,39	0,84	0,93	0,28	1,92	0,88	1,03	1,5
	81,1 9	82,0 6	83,9 7	85,4 2	85,2 6	85,0 3	85,5 4	84,5 9	83,4 5	80,1 5	77,8 4	78,0 4	75,0 7	75,1 7	74,4 2	72,1 7	72,1 7
	81,9 3	82,3 9	83,0 9	83,3 4	84,2 7	83,8 2	84,6 8	83,9 5	81,6 2	79,4 4	75,8 2		73,4 3	74,8 1	73,2 3	71,1 5	70,2 9
	82,4 4	84,2 8	86,3 7	85,8 9	86,2 4	86,2 8	88,5 3	88,7 5	86,5 5	84,1 6	81,1 7	80,8 6	78,2 6	78,4 1		76,5 4	77,1 1
LATÓN	81,8 5	82,9 1	84,4 8	84,8 8	85,2 6	85,0 4	86,2 5	85,7 6	83,8 7	81,2 5	78,2 8	78,5 7	75,5 9	76,1 3	75,2 2	73,2 9	73,2 9
A4 (f)	0,31	1,20	1,70	1,36	0,99	1,23	2,02	2,61	2,49	2,55	2,70	2,08	1,23	1,98	2,48	2,86	3,6
	90,9 2	92,9 8	92,1 5	92,0 6	89,6 4	85,0 2	83,9 3			79,1 7	79,9 1	77,3 7	76,8 9	76,3 2	70,2 9	65,7 8	64,2 6
	88,8 1	92,9 5	92,3 1	91,4 6	90,5 1	85,9 4	83,3 6	81,7 7	81,5 7	81,7 5	82,1 7		78,7 9	79,0 7	72,2 7	68,5 1	67,1 9
	88,5 6	91,1 2	90,1 4	91,3 9	89,6 7	85,6 6	81,2 9	80,2 3	80,9 9			78,4 79,4	78,6 79,2	77,1 2	71,1 2	68,7 7	66,1 8
LATÓN	89,4 3	92,3 5	91,5 3	91,6 4	89,9 4	85,5 4	82,8 6	81,1 0	80,5 9	80,1 1	80,4 3	78,4 3	78,1 0	77,5 0	71,2 4	67,6 8	66,1 8
A5 (f)	0,65	1,07	1,21	0,37	0,49	0,47	1,39	0,79	1,24	1,43	1,55	1,07	0,53	1,41	0,99	1,65	1,5

LATÓN	f (Hz)	cents	LATÓN	f (Hz)	cents	LATÓN
A3 (p)	220,36	2,83	A3 (mf)	219,95	-0,39	A3 (f)
	221,29	10,12		220,29	2,28	
	221,84	14,42		220,39	3,07	
	221,16	9		220,21	2	
DE	0,75		DE	0,23		DE
A4 (p)	448,46	32,97	A4 (mf)	443,65	14,30	A4 (f)
	448,62	33,59		444,16	16,29	
	447,91	30,85		443,76	14,73	
	448,33	32		443,86	15	
DE	0,37		DE	0,27		DE
A5(p)	897,34	33,78	A5(mf)	894,02	27,36	A5(f)
	897,32	33,74		894,46	28,22	
	897,16	33,43		893,14	25,66	

	897,27	34		893,87	27	
DE	0,10		DE	0,67		DE

	Boquilla	1	2	3	LA3	DE	1	2	3	LA4	DE	1	2	3	LA5
micro dB(300ms)	PVC	51,71	57,37	51,13	53,4	3,45	41,07	66,74	71,32	59,71	16,3	66,14	63,23	63,20	64,19
MS max dB(300ms)		-14,05	-13,62	-13,38	-13,68	0,34	-13,52	-13,24	-13,33	-13,36	0,14	-16,13	-13,91	-13,60	-14,55
MSmax (ms)		0,29	0,294	0,276	0,287	0,01	0,298	0,287	0,266	0,284	0,02	0,294	0,291	0,30	0,29
dB/s		158,45	157,76	168,91	161,57	6,25	155,97	162,93	175,45	164,41	9,87	149,22	158,38	156,76	154,78
micro dB(300ms)	Nylon	61,87	54,84	71,43	62,71	8,33	40,44	63,76	40,53	48,24	13,44	63,94	35,15	50,18	49,76
MS max dB(300ms)		-13,73	-13,57	-13,13	-13,48	0,31	-13,53	-13,31	-12,64	-13,16	0,46	-14,7	-15,19	-12,87	-14,25
MSmax (ms)		0,277	0,295	0,288	0,287	0,01	0,286	0,288	0,261	0,278	0,02	0,299	0,299	0,281	0,293
dB/s		167,04	157,39	162,74	162,29	4,83	162,48	162,12	181,46	168,29	11,06	151,51	149,87	167,72	156,13
micro dB(300ms)	Grafito	67,76	45,16	46,55	53,16	12,67	63,44	58,48	52,32	58,08	5,57	61,96	60,96	61,18	61,37
MS max dB(300ms)		-15,21	-13,55	-13,39	-14,05	1,01	-13,14	-12,78	-12,64	-12,85	0,26	-12,68	-12,88	-13,27	-12,94
MSmax (ms)		0,241	0,223	0,278	0,247	0,03	0,291	0,298	0,289	0,293	0	0,243	0,265	0,267	0,258
dB/s		185,85	208,3	167,66	185,78	20,35	161,03	158,46	163,88	161,09	2,71	194,73	177,81	175,02	182,15
micro dB(300ms)	Granadillo	53	55,08	72,07	60,05	10,46	67,17	64,66	65,48	65,77	1,28	69,6	57,77	55,8	61,06
MS max dB(300ms)		-13,87	-12,61	-13,17	-13,22	0,63	-13,56	-13,45	-13,18	-13,4	0,2	-14,12	-13,05	-12,95	-13,37
MSmax (ms)		0,212	0,198	0,295	0,235	0,05	0,293	0,275	0,282	0,283	0,01	0,293	0,29	0,276	0,286
dB/s		217,59	239,34	158,75	199,08	41,7	158,5	169,27	166,03	164,48	5,53	156,59	161,9	170,47	162,84
micro dB(300ms)	P. Violeta	50,64	70,6	70,05	63,76	11,37	46,51	71,52	69,26	62,43	13,83	62,59	70,17	23,39	52,05
MS max dB(300ms)		-16,38	-13,18	-12,71	-14,09	2	-12,87	-13,18	-12,66	-12,9	0,26	-14,49	-13,61	-13,07	-13,72
MSmax (ms)		0,248	0,287	0,273	0,269	0,02	0,294	0,289	0,266	0,283	0,01	0,293	0,298	0,297	0,296
dB/s		175,89	163,14	173,22	170,46	6,73	160,31	162,01	177,97	166,42	9,74	155,32	155,67	158,01	156,34
micro dB(300ms)	Olivo	65,21	71,57	72,63	69,8	4,01	67,37	35,77	64,54	55,89	17,48	73,77	61,33	20,99	52,03
MS max dB(300ms)		-12,39	-11,41	-11,8	-11,87	0,49	-15,4	-14,52	-13,46	-14,46	0,97	-12,54	-14,19	-12,56	-13,1
MSmax (ms)		0,279	0,251	0,252	0,261	0,02	0,289	0,28	0,286	0,285	0	0,298	0,275	0,23	0,268
dB/s		170,65	193,59	191,27	184,65	12,63	154,33	162,43	162,73	159,79	4,77	159,26	166,58	206,26	175,23
micro dB(300ms)	Latón	51,24	74,2	49,19	58,21	13,89	75,06	68,86	40,03	61,32	18,69	60,68	53,43	56,55	56,89
MS max dB(300ms)		-13,21	-13,14	-12,8	-13,05	0,22	-13,72	-13,38	-12,59	-13,23	0,58	-13,12	-12,71	-12,91	-12,91
MSmax (ms)		0,288	0,285	0,296	0,29	0,01	0,294	0,279	0,232	0,268	0,03	0,292	0,284	0,294	0,29
dB/s		162,47	164,42	159,46	162,08	2,5	157,41	167,1	204,35	174,3	24,78	160,55	166,51	160,17	162,37

ANEXO II. CÁLCULOS PARA LAS SORDINAS

SORDINAS STRAIGHT

STRAIGHT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	54,2		65,3	64,4	65,4	70,5	71,2	65,4	76,0	73,1	72,7	70,0	73,3	66,3	71,0	
	3	62,5	8	9	6	2	2	1	5	2	4	9	7	4	2	68
	54,9	64,0	65,9	62,2	65,3	68,5		62,5	71,8		72,4		72,9	68,5	70,7	70
	9	2	3	8	9	2	70,7	7	4	71,4	7	71	7	8	6	6
	56,8	65,7	68,3	66,1	66,7	68,6			76,4	74,1	74,0	71,4	73,9	68,1	73,3	72
	5	4	4	2	1	7	70,6	65,3	9	3	5	9	4	1	5	5
Aluminio	55,3	64,0	66,5	64,3	65,8	69,2	70,8	64,4	74,7	72,8	73,0	70,8	73,4	67,6	71,7	70
DE	6	9	5	0	5	4	4	3	9	8	9	6	3	8	1	7
	0,67	1,62	1,57	1,93	0,74	1,11	0,33	1,61	2,57	1,38	0,85	0,71	0,24	1,18	1,43	1,6
	52,3	62,0	65,9	64,8	66,8	69,9	70,0	59,2	75,2	75,3	75,2	73,3	75,2	69,6	73,0	68
	6	6	2	4	4	8	9	4	1	3	6	5	7	8	8	5
	53,9	63,3	66,5	64,0	66,2	69,9	69,8	58,7	75,6	76,3	76,3		76,2	70,9	73,0	70
	2	4	2	7	9	1	9	7	2	6	7	74,6	8	1	7	7
	52,9	62,3	65,3	62,3	64,2		68,4	57,5	73,2	73,1	74,3	72,9	74,8	69,3	71,3	
	1	5	9	5	1	68,5	7	1	1	1	6	5	6	3	6	68
Aluminio + latón	53,0	62,5	65,9	63,7	65,7	69,4	69,4	58,5	74,6	74,9	75,3	73,6	75,4	69,9	72,5	69
DE	6	8	4	5	8	6	8	1	8	3	3	3	7	7	0	4
	0,40	0,67	0,57	1,27	1,39	0,84	0,88	0,89	1,29	1,66	1,01	0,86	0,37	0,83	0,99	1,2
	50,1	60,5	62,6	61,5	64,6	66,0		68,9	68,7	70,8		68,8	68,7	70,3	67,7	66
	5	5	5	7	1	5	65,6	9	5	1	70,2	9	5	2	3	1
	49,9	62,5	64,2	62,2	64,6	64,3	63,8	64,9	66,5	68,3		66,0	65,9		64,1	63
	5	7	5	4	1	4	5	8	7	7	68	5	4	67,1	1	8
	48,6	60,0	61,8	60,4	62,7	63,5	61,4	62,7	64,6	65,9	66,5	65,7	65,4	65,4	63,7	61
	3	9	3	6	4	2	6	5	9	4	7	3	6	6	1	6
Aluminio + cobre	49,5	61,0	62,9	61,4	63,9	64,6	63,6	65,5	66,6	68,3	68,2	66,8	66,7	67,6	65,1	63
DE	8	7	1	2	9	4	4	7	7	7	6	9	2	3	8	8
	0,41	1,32	1,23	0,90	1,08	1,29	2,08	3,16	2,03	2,44	1,83	1,74	0,89	2,47	2,21	2,6

STRAIGHT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

	51,1 1	62,5 7	65,0 8	62,2 5	64,4 2	67,7	69,5 4	63,3 3	74,9 6	75,7 3	75,9 1	74,3 3	74,0 3	67,2	71,9	70 8
	51,8 3	63,0 4	65,2 8	62,6 8	65,5 4	69,2 4	70,4	65,5 1	76,9 6	78,3	78,7	78,0 8	78,1 7	69,3 4	73,4 4	70 3
	52,3 7	63,4 6	66,2 9	64,0 8	67,0 7	70,9 8	71,2 5	66,2 3	76,8 3	78,9	79,6 6	78,9	79,8 2	70,5 5	74,8 9	73 1
Cobre	51,7 7	63,0 2	65,5 2	63,0 0	65,6 8	69,3 1	70,4 0	65,0 2	76,2 5	77,6 4	78,0 9	77,1 0	77,3 4	69,0 3	73,4 1	71 7
DE	0,32	0,45	0,67	0,96	1,33	1,64	0,86	1,51	1,12	1,68	1,95	2,44	1,49	1,70	1,50	1,6
	55,0 2	62,6 6	64,9 3	62,7 3	67,0 6	69,6 8	67,8 4	54,8 4	74,3 3	74,1 2	73,8 3	72,6 8	61,7 3	73,5 7	73,2 6	69 1
	56,1 8	64,5 4	67,1 6	64,6 8	68,8 4	70,4 4	69,0 6	50,6 8	77,8 5	76,6 4	76,4	75,3 6	66,7 1	74,2 8	72,2 7	70 4
	56,0 7	65,0 7	68,3 3	65,8 8	69,5 7	71,5 2	70,3 4	57,4 9	76,7 2	77,1 3	77,6 2	76,8 9	64,2 4	78,6 3	77,6 4	75 2
PVC	55,7 6	64,0 9	66,8 1	64,4 3	68,4 9	70,5 5	69,0 8	54,3 4	76,3 0	75,9 6	75,9 5	74,9 8	64,2 3	75,4 9	74,3 9	71 6
DE	0,32	1,27	1,73	1,59	1,29	0,92	1,25	3,43	1,80	1,62	1,93	2,13	1,25	2,74	2,86	3,3
	45,5 7	55,2 8	57,6 6	55,9 6	57,1	59,9 2	55,8 6	61,7 2	68,5 5	65,6 7	66,0 8	62,8 5	67,7 3	69,4 4	67,3 2	62 3
	46,3 4	56,8	59,5 3	58,0 2	60,7 9	64,3 3	61,3 5	68,0 6	73,8 9	71,1 4	71,7	68,7 8	69,9 7	72,3 7	70,1 3	66 9
	47,9	58,3 1	61,0 3	58,5 7	61,5 2	64,2 8	60,2 8	70,1 2	76,5 2	73,3 9	72,9 7	69,9	70,6 7	72,8	71,4	67 1
Cartón fibra duro	46,6 0	56,8 0	59,4 1	57,5 2	59,8 0	62,8 4	59,1 6	66,6 3	72,9 9	70,0 7	70,2 5	67,1 8	69,4 6	71,5 4	69,6 2	65 4
DE	0,59	1,52	1,69	1,38	2,37	2,53	2,91	4,38	4,06	3,97	3,67	3,79	0,77	1,83	2,09	2,4
	49,7 2	50,3 1	54,2 3	52,2	55,5 7	58,0 3	54,7 7	59,7 4	64,0 8	65,3 5	65,4 9	62,7 4	67,8 8	70,1 1	68,7 7	65 8
	49,7 8	51,6 6	55,5 6	53,3 3	56,9	59,2 2	55,9 7	61,0 9	66,7 3	67,0 8	67,9	65,3 4	71,1 2	72,4 7	70,8 7	67 6
	48,2	50,9 8	52,8 8	49,5 9	52,9 8	53,9	50,3 4	56,8 8	59,1 4	62,3 8	61,5 4	59,4 5	65,5 3	66,2 7	65,8	63 4
Cartón fibra blan	49,2 3	50,9 8	54,2 2	51,7 1	55,1 5	57,0 5	53,6 9	59,2 4	63,3 2	64,9 4	64,9 8	62,5 1	68,1 8	69,6 2	68,4 8	65 9
DE	0,45	0,68	1,34	1,92	1,99	2,79	2,97	2,15	3,85	2,38	3,21	2,95	1,40	3,13	2,55	2,2

SORDINAS CUP

CUP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	41,9 7	59,5 9	62,2 0	62,2 8	67,9 1	55,8 5	54,3 1	50,4 2	50,2 4	46,1 6	32,4 1	40,8 4	52,0 7	53,6 6	47,2 1	49,0 2
	43,4 3	58,0 5	60,6 5	62,2 9	69,4 0	60,1 2	49,0 4	47,2 5	47,6 6	47,6 3	38,3 7	40,0 0	56,9 7	55,7 3	47,5 4	59,0 6
	44,3 7	60,2 3	63,1 3	66,5 9	74,6 6	63,1 2	52,4 1	49,3 3	50,1 9	48,8 8	39,0 7	42,6 1	56,6 8	56,6 4	45,8 9	60,0 9
Cartón fibra duro	43,2 6	59,2 9	61,9 9	63,7 2	70,6 6	59,7 0	51,9 2	49,0 0	49,3 6	47,5 6	36,6 2	41,1 5	55,2 4	55,3 4	46,8 8	56,0 9
DE	1,21	1,12	1,25	2,49	3,55	3,65	2,67	1,61	1,48	1,36	3,66	1,33	2,75	1,53	0,87	6,3
	52,7 1	61,9 9	68,8 4	66,7 2	59,0 0	53,0 0	31,9 4	33,2 7	34,7 5	38,2 4	39,6 5	47,6 5	56,9 4	50,2 3	53,4 2	51,0 4
	52,1 3	61,5 9	68,4 6	67,6 5	60,4 0	55,0 3	33,0 2	31,1 6	37,9 9	40,7 8	40,8 9	47,2 7	57,3 1	53,2 5	54,6 0	52,0 1
	51,7 8	61,6 2	68,4 4	68,4 4	61,9 1	56,4 1	33,7 6	29,4 5	39,3 1	40,9 8	40,1 0	46,4 2	57,8 6	55,8 4	54,4 2	52,0 2
Cartón fibra blan	52,2 1	61,7 3	68,5 8	67,6 0	60,4 4	54,8 1	32,9 1	31,2 9	37,3 5	40,0 0	40,2 1	47,1 1	57,3 7	53,1 1	54,1 5	52,0 9
DE	0,23	0,22	0,23	0,86	1,46	1,72	0,92	1,91	2,35	1,53	0,63	0,63	0,23	2,81	0,64	0,4
	55,3 9	61,9 2	64,2 2	61,0 2	63,4 9	69,5 2	63,6 8	46,9 3	62,0 1	56,8 9	53,1 7	48,3 9	47,4 9	60,5 3	56,8 0	54,0 8
	52,9 9	61,7 6	64,9 5	63,0 7	64,1 9	70,4 3	65,9 5	44,5 6	57,4 7	55,2 2	52,6 5	46,7 7	45,2 8	55,0 4	52,4 1	49,0 5
	48,9 9	58,6 1	61,2 0	58,4 8	59,9 7	64,6 5	57,2 6	44,7 2	50,8 5	50,1 1	48,0 9	43,8 3	32,3 0	44,5 1	44,5 1	39,0 7
Cobre	52,4 6	60,7 6	63,4 6	60,8 6	62,5 5	68,2 0	62,3 0	45,4 0	56,7 8	54,0 7	51,3 0	46,3 3	41,6 9	53,3 6	51,2 4	47,0 3
DE	1,62	1,87	1,99	2,30	2,26	3,11	4,51	1,32	5,61	3,53	2,79	2,31	4,10	8,14	6,23	7,6

CUP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	38,7 8	61,6 5	73,5 0	57,7 5	48,6 6	49,9 8	39,8 4	35,7 7	38,6 7	33,7 5	35,7 2	40,7 7	49,5 2	53,3 1	34,9 4	48,9 9
	40,7 1	61,8 2	73,6 1	59,0 8	50,7 6	53,1 6	44,2 4	39,4 7	42,1 1	36,9 1	38,5 4	41,9 2	49,8 3	52,2 1	36,7 6	49,4 4
	41,9 2	62,6 5	73,8 4	58,5 4	49,8 4	53,1 6	46,5 1	39,5 8	44,1 4	37,9 9	39,9 8	46,7 2	53,9 2	56,2 4	39,7 6	55,9 9
Aluminio negro	40,4 7	62,0 4	73,6 5	58,4 6	49,7 5	52,1 0	43,5 3	38,2 7	41,6 4	36,2 2	38,0 8	43,1 4	51,0 9	53,9 2	37,1 5	51,7 7
DE	0,79	0,54	0,17	0,67	1,05	1,84	3,39	2,17	2,77	2,20	2,17	3,16	1,23	2,08	2,43	3,9
	50,8 8	55,9 8	63,8 9	70,8 9	55,6 9	42,8 0	31,0 1	29,8 4	26,2 2	51,8 5	39,6 6	55,9 6	57,6 9	61,2 0	48,4 4	59,3 3
	53,4 6	58,4 8	65,5 9	73,9 8	58,1 1	46,3 6	36,0 4	30,3 8	32,8 7	47,8 2	46,2 0	57,8 7	58,7 9	63,8 5	53,5 2	58,6 6
	49,2 8	56,3 1	62,7 1	70,2 3	53,3 5	41,5 4	35,0 1	29,9 0	30,8 4	43,1 3	42,4 0	54,2 6	57,4 5	61,2 3	50,5 6	55,6 6
Alumino	51,2 1	56,9 2	64,0 6	71,7 0	55,7 2	43,5 7	34,0 2	30,0 4	29,9 8	47,6 0	42,7 5	56,0 3	57,9 8	62,0 9	50,8 4	57,5 5
DE	1,05	1,36	1,45	2,00	2,38	2,50	2,66	0,30	3,41	4,36	3,28	1,81	0,36	1,52	2,55	2,0

SORDINAS HARMON (posición 1)

HARMON – 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	44,9 2	39,0 3	44,4	49,7 6	57,8 8	67,1 3	62,3 1	59,1 3	57,7 6	60,4 8	46,6 5	63,0 2	65,0 3	66,9 2	62,4 7	50,7
	46,5 8	39,8 5	45,8	50,9 7	58,6	65,9 2	63,0 5	58,1 1	58,1 7	56,2 9	51,0 1	63,9 8	65,4 4	65,2 5	60,9 2	40,4
	45,3 8	37,7 8	42,6 3	47,1 2	52,9 5	61,9 6	59,5 2	53,7	54,6 3	53,7 5	46,8 2	58,9	59,8 9	58,6 2	57,3 2	40,7
Aluminio	45,6 3	38,8 9	44,2 8	49,2 8	56,4 8	65,0 0	61,6 3	56,9 8	56,8 5	56,8 4	48,1 6	61,9 7	63,4 5	63,6 0	60,2 4	43,9
DE	0,43	1,04	1,59	1,97	3,08	2,70	1,86	2,89	1,94	3,40	2,47	2,70	1,55	4,39	2,64	5,8
	48,4 1	39,9 8	30,0 3	38,1 5	47,3 4	55,2 1	66,0 4	64,3 8	63,8 1	59,2 6	49,3 2	51,1 6	52,2 1	48,3 9	50,6 5	64,2
	34,7 3	25,6 5	7,76	26,3 3	32,5	37,7 5	50,8 5	37,3	55,8 8	64,8 9	57,4 5	48,8	48,5 8	47,4 7	47,1 2	58,8
	32,6 5	18,8 9	-0,83	14,3 5	26,7 8	35,2 1	46,0 2	36,3	52,7 2	61,6 2	52,1 2	44,8 6	47,0 8	43,4 4	46,3 7	55,7
Cobre	38,6 0	28,1 7	12,3 2	26,2 8	35,5 4	42,7 2	54,3 0	45,9 9	57,4 7	61,9 2	52,9 6	48,2 7	49,2 9	46,4 3	48,0 5	59,2
DE	4,28	10,7 7	15,9 3	11,9 0	10,6 1	10,8 9	10,4 5	15,9 3	5,71	2,83	4,13	3,18	1,32	2,63	2,29	4,8
	46,1 8	44,0 9	50,6	55,1 5	62,4 1	65,6 2	62,2	60,0 9	55,4 5	65,6 4	69,8 1	67,3 2	62,0 8	51	43,0 2	49,3
	47	43,3 4	50,3 4	55,4 4	62,0 6	67,5 7	63,4 9	59,2 7	54,6 3	66,5 6	69,9 9	67,0 6	61,0 1	45,5 5	39,2 6	42,1
	44,5 9	41,7 8	47,6 9	52,5 9	58,6 6	63,8 8	59,5 6	56,2 1	52,7 3	61,9 6	66,4 7	64,4 2	59,0 6	47,3 2	37,5 8	40,4
Aluminio	45,9 2	43,0 7	49,5 4	54,3 9	61,0 4	65,6 9	61,7 5	58,5 2	54,2 7	64,7 2	68,7 6	66,2 7	60,7 2	47,9 6	39,9 5	43,9
DE	0,61	1,18	1,61	1,57	2,07	1,85	2,00	2,04	1,40	2,43	1,98	1,60	0,77	2,78	2,79	4,5

SORDINAS HARMON (posición 2)

HARMON – 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	40,2 6	30,4 9	28,0 9	24,2 2	19,1 1	25,7 5	32,7 4	34,4 4	37,8 9	41,8 2	42,1 2	39,1 9	37,4 4	31,4 4	26,0 4	20,0 6
	41,1 5	29,5 4	27,6 9	28,0 5	18,5 18,5	25,2 7	39,7 6	37,8 1	38,5 7	47,6 47,6	47,1 5	40,3 6	38,3 38,3	40,5 7	34,3 3	23,0 9
	39,6 7	29,1 29,1	26,8 4	26,0 1	16,9 4	27,3 9	35,2 9	33,6 8	39,3 5	45,2 2	41,8 4	39,8 1	36,9 7	34,6 2	28,2 6	21,0 21
Aluminio	40,3 6	29,7 1	27,5 4	26,0 9	18,1 8	26,1 4	35,9 3	35,3 1	38,6 0	44,8 8	43,7 0	39,7 9	37,5 7	35,5 4	29,5 4	21,0 8
DE	0,37	0,71	0,64	1,92	1,12	1,11	3,55	2,20	0,73	2,90	2,99	0,59	0,34	4,63	4,29	1,7
	45,1 2	39,1 9	34,6 34,6	31,6 4	34,4 2	33,0 9	34,5 2	33,6 3	42,3 9	50,7 8	46,1 9	40,4 1	37,5 9	34,4 7	40,5 8	46,0 8
	45,6 8	41,8 3	37,1 4	35,3 5	34,0 6	32,2 4	33,8 3	34,7 8	44,4 3	54,5 9	47,7 1	41,9 41,9	39,1 4	37,3 2	41,4 1	49,0 1
	42,9 42,9	39,3 1	35,2 2	34,8 4	33,3 7	32,6 4	33,0 8	34,1 1	39,7 39,7	53,3 2	46,7 9	40,4 2	37,7 1	40,2 40,2	43,2 7	48,0 7
Cobre	44,5 7	40,1 1	35,6 5	33,9 4	33,9 5	32,6 6	33,8 1	34,1 7	42,1 7	52,9 0	46,9 0	40,9 1	38,1 5	37,3 3	41,7 5	48,0 2
DE	0,74	1,49	1,32	2,01	0,53	0,43	0,72	0,58	2,37	1,94	0,77	0,86	0,43	2,87	1,38	1,4
	43,1 8	34,2 9	30,5 7	31,4 4	26,0 3	34,3 8	37,8 4	40,7 40,7	51,1 9	56,4 1	52,8 9	48,9 1	47,3 1	43,2 7	33,7 9	34,0 6
	46,9 3	37,3 1	34,1 8	36,9 9	31,8 4	36,5 36,5	41,7 41,7	47,1 1	53,9 7	57,1 57,1	56,5 5	54,3 4	48,3 4	45,5 2	36,1 36,1	38,0 38
	42,9 4	32,6 8	26,1 4	30,8 4	27,7 1	32,9 5	31,9 9	40,0 9	50,6 3	55,5 4	50,5 9	49,4 1	44,6 8	41,9 41,9	32,3 5	33,0 3
Aluminio	44,3 5	34,7 6	30,3 0	33,0 9	28,5 3	34,6 1	37,1 8	42,6 3	51,9 3	56,3 5	53,3 4	50,8 9	46,7 8	43,5 6	34,0 8	35,0 0
DE	1,12	2,35	4,03	3,39	2,99	1,79	4,89	3,89	1,79	0,78	3,01	3,00	0,94	1,83	1,89	2,8

SORDINAS HARMON (posición 3)

HARMON – 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	58,2 2	45,9 5	42,0 1	39,9 6	32,8 5	21,4 6	31,4 6	41,2 5	42,9 3	42,1 3	41,3 7	40,2 8		47,0 6		46,9 2
	60,4	49,6 4	47,3 3	43,9 9	38,5 6	26,6 6	34,9 1		47,9 9	41,0 4	47,0 1	47,3 2	50,3 1	52,4 9	52,3 4	
	57,1 5	46,1 5	43,7 7	40,5 8	35,1 8	22,1 8	31,3 6	45,3 1	46,2 4	40,2 8	46,0 5	45,3 6	48,2 9	50,0 7		50,5 9
Aluminio	58,5 9	47,2 5	44,3 7	41,5 1	35,5 3	23,4 3	32,5 8	44,9 5	45,7 2	41,1 5	44,8 1	44,3 2	47,4 3	49,8 7	49,9 1	49,9 7
DE	0,83	2,08	2,71	2,17	2,87	2,82	2,02	3,54	2,57	0,93	3,02	3,63	1,69	2,72	2,77	2,3
	55,1 4	42,6 4		42,1 3	38,2 6	34,5 7	22,1 3	25,7 9	29,3 4	39,7 1	41,2 2	42,9 2	45,0 1	47,0 9	46,3 9	
	56,1 4		44,6 4	46,4 2	42,9 6	39,1 5	28,3 3	30,8 8		43,0 2	42,7 6	45,5 2	48,3 8	51,9 7	50,6 1	49,9 5
	51,3 2	40,4 3		40,5 3	36,3 2	32,0 5	22,1 3	24,0 9			37,6 4	40,6 1	43,1 8	44,6 2	44,2 8	42,9 1
Cobre	54,2 0	43,4 2	41,0 1	43,0 3	39,1 8	35,2 6	24,2 0	26,9 2	29,3 1	39,8 1	40,5 4	43,0 2	45,5 2	47,8 9	47,0 9	45,9 9
DE	1,27	3,45	3,30	3,05	3,41	3,60	3,58	3,53	2,60	3,16	2,63	2,46	1,32	3,74	3,22	3,6
	60,4 3	49,8 7	45,3 1	41,7 2	34,7 6	37,9 1	38,1 6	38,1 6	42,1 5	50,3 9	42,6 2	48,6 9	53,4 8	56,2 1		55,1 53
	59,7 6	47,4 5	43,2 5	40,9 8	35,6 6	39,2 4	39,6 4		38,0 1	56,3 7	43,3 3	46,5 8	51,5 4	54,5 7	54,0 1	52,9 6
	56,6 5	44,4 2	39,9 2		31,3 4	36,1 6	34,3 4	32,0 1	31,9 8	55,1 6			47,5 4	49,4 7	49,3 3	47,9 4
Aluminio	58,9 5	47,2 5	42,8 3	40,0 7	33,9 2	37,7 7	37,3 8	35,8 6	37,3 8	53,9 7	42,6 8	46,3 2	50,8 5	53,4 2	52,8 1	51,9 0
DE	1,01	2,73	2,72	2,25	2,28	1,54	2,73	3,35	5,11	3,16	0,62	2,50	1,51	3,51	3,07	3,3

LA 3 (220 Hz)	224,02	221,34	221,53	222,30	1,50	17,98
SI b 3	236,25	236,36	236,62	236,41	0,19	24,55
SI 3	253,07	250,72	250,15	251,31	1,55	30,38
DO 4	264,27	264,91	264,53	264,57	0,32	19,38
DO # 4	286,15	286,36	286,87	286,46	0,37	57,00
RE 4	297,70	297,49	298,04	297,74	0,28	23,88
MI b 4	314,64	314,05	313,42	314,04	0,61	16,12
MI 4	333,69	333,59	332,71	333,33	0,54	19,34
FA 4	352,02	351,47	352,81	352,10	0,34	14,18
FA # 4	373,18	372,59	372,36	372,71	0,42	12,66
SOL 4	395,29	393,74	395,38	394,80	0,92	12,36
SOL # 4	417,54	416,17	419,39	417,70	1,62	9,96
LA 4 (440 Hz)	445,08	446,08	445,14	445,43	0,56	21,25
SI b 4	470,54	471,13	472,13	471,27	0,80	18,85
SI 4	498,14	496,75	496,38	497,09	0,93	11,20
DO 5	528,00	529,31	528,82	528,71	0,66	17,97
DO # 5	557,35	558,03	558,89	558,09	0,77	11,59
RE 5	591,14	590,41	591,22	590,92	0,45	10,56
MI b 5	624,98	623,72	627,38	625,36	1,86	8,62
MI 5	664,00	660,36	661,03	661,80	1,94	6,66
FA 5	707,35	707,80	708,50	707,88	0,58	23,21
FA # 5	752,02	753,81	753,07	752,97	0,90	30,10
SOL 5	800,99	801,27	802,30	801,52	0,69	38,28
SOL # 5	844,88	852,20	848,03	848,37	3,67	36,63
LA 5 (880 Hz)	898,45	896,85	899,09	898,13	1,15	35,30
SI b 5	943,30	946,96	947,27	945,84	2,21	24,92
SI 5	1000,74	998,13	1000,41	999,76	1,42	20,89
DO 6	1059,49	1065,74	1063,61	1062,95	3,18	26,99

SI b 3	234,58	234,90	234,59	234,69	0,18	11,90
SI 3	250,85	250,29	250,24	250,46	0,34	24,49
DO 4	264,21	264,57	264,37	264,38	0,18	18,15
DO # 4	282,96	282,53	282,62	282,70	0,23	34,14
RE 4	295,56	295,58	295,06	295,40	0,29	10,20
MI b 4	314,07	313,77	313,29	313,71	0,39	14,31
MI 4	332,82	333,27	333,36	333,15	0,29	18,40
FA 4	352,01	350,74	351,41	351,39	0,32	10,67
FA # 4	373,96	372,22	373,34	373,17	0,88	14,81
SOL 4	395,25	395,12	394,79	395,05	0,24	13,45
SOL # 4	419,01	416,66	419,08	418,25	1,38	12,23
LA 4 (440 Hz)	446,90	445,67	445,00	445,86	0,96	22,89
SI b 4	470,65	470,42	469,91	470,33	0,38	15,39
SI 4	500,47	497,83	496,77	498,36	1,91	15,61
DO 5	529,78	525,10	526,08	526,99	2,47	12,32
DO # 5	555,94	557,98	558,37	557,43	1,31	9,54
RE 5	589,65	585,76	588,25	587,89	1,97	1,64
MI b 5	620,86	623,19	622,98	622,34	1,29	0,25
MI 5	661,68	660,70	661,10	661,16	0,49	5,00
FA 5	707,02	708,84	706,59	707,48	1,19	22,23
FA # 5	749,19	752,65	750,59	750,81	1,74	25,13
SOL 5	802,33	802,00	800,59	801,64	0,92	38,54
SOL # 5	842,02	842,10	843,69	842,60	0,94	24,82
LA 5 (880 Hz)	896,04	894,69	891,86	894,20	2,13	27,71
SI b 5	942,37	941,94	941,74	942,02	0,32	17,90
SI 5	996,19	1000,40	1003,67	1000,09	3,75	21,46
DO 6	1068,39	1073,08	1074,41	1071,96	3,16	41,61

SI b 3	234,25	234,24	234,59	234,36	0,20	9,47
SI 3	246,36	246,89	246,28	246,51	0,33	-3,03
DO 4	260,84	260,35	260,94	260,71	0,32	-6,07
DO # 4	280,17	281,90	280,80	280,96	0,88	23,41
RE 4	298,15	298,14	298,81	298,37	0,38	27,50
MI b 4	310,06	307,70	313,29	310,35	2,81	-4,33
MI 4	332,82	333,27	332,98	333,02	0,23	17,74
FA 4	349,92	350,69	350,82	350,48	0,24	6,18
FA # 4	370,20	369,77	368,60	369,52	0,83	-2,21
SOL 4	393,82	391,27	391,76	392,28	1,35	1,27
SOL # 4	416,67	414,32	414,31	415,10	1,36	-0,85
LA 4 (440 Hz)	443,67	442,69	442,93	443,10	0,51	12,14
SI b 4	468,89	467,09	465,93	467,30	1,49	4,23
SI 4	497,05	493,66	492,97	494,56	2,18	2,37
DO 5	526,97	524,70	523,29	524,99	1,86	5,73
DO # 5	552,56	553,28	553,03	552,96	0,37	-4,40
RE 5	587,81	585,79	584,63	586,08	1,61	-3,70
MI b 5	621,96	621,20	620,15	621,10	0,91	-3,20
MI 5	658,66	658,55	658,22	658,48	0,23	-2,05
FA 5	707,10	707,51	704,94	706,52	1,38	19,86
FA # 5	749,20	742,55	741,46	744,40	4,19	10,30
SOL 5	795,64	790,44	789,01	791,70	3,49	16,93
SOL # 5	841,32	836,90	835,26	837,83	3,13	14,98
LA 5 (880 Hz)	893,25	886,51	891,99	890,58	3,58	20,70
SI b 5	944,52	944,98	937,57	942,36	4,15	18,52
SI 5	992,07	990,70	990,98	991,25	0,72	6,09
DO 6	1061,58	1055,53	1054,94	1057,35	3,68	17,85

SI b 3	236,76	236,74	236,67	236,72	0,05	26,84
SI 3	252,84	252,26	252,31	252,47	0,32	38,33
DO 4	266,35	266,89	266,02	266,42	0,44	31,44
DO # 4	284,70	284,58	284,19	284,49	0,27	45,05
RE 4	297,88	297,83	298,66	298,12	0,47	26,09
MI b 4	315,41	316,35	314,37	315,38	0,99	23,49
MI 4	335,74	335,56	335,02	335,44	0,37	30,26
FA 4	355,29	354,90	354,83	355,01	0,12	28,41
FA # 4	374,96	375,74	375,62	375,44	0,42	25,29
SOL 4	397,56	397,52	396,83	397,30	0,41	23,28
SOL # 4	420,68	420,34	418,85	419,96	0,97	19,28
LA 4 (440 Hz)	447,61	449,08	448,50	448,40	0,74	32,73
SI b 4	473,52	472,90	472,65	473,02	0,45	25,29
SI 4	501,09	501,12	499,18	500,46	1,11	22,91
DO 5	531,42	534,05	530,79	532,09	1,73	28,99
DO # 5	564,15	560,42	560,41	561,66	2,16	22,63
RE 5	593,63	594,42	593,24	593,76	0,60	18,86
MI b 5	630,03	628,53	628,91	629,16	0,78	19,10
MI 5	667,92	667,80	667,38	667,70	0,28	22,04
FA 5	716,93	712,47	713,74	714,38	2,30	39,03
FA # 5	757,28	757,26	758,01	757,52	0,43	40,53
SOL 5	803,29	807,69	803,05	804,68	2,61	45,09
SOL # 5	846,99	850,68	849,04	848,90	1,85	37,72
LA 5 (880 Hz)	902,56	904,77	903,26	903,53	1,13	45,68
SI b 5	947,20	951,70	950,18	949,69	2,29	31,95
SI 5	1001,14	999,56	1001,14	1000,61	0,91	22,37
DO 6	1062,98	1067,63	1065,68	1065,43	2,34	31,03

LA 3 (220 Hz)	223,22	223,25	223,26	223,24	0,02	25,34
SI b 3	236,57	235,96	236,41	236,31	0,32	23,84
SI 3	249,02	248,95	249,59	249,19	0,35	15,67
DO 4	266,98	265,89	266,49	266,45	0,55	31,66
DO # 4	284,56	284,02	283,95	284,18	0,33	43,14
RE 4	300,02	300,20	299,35	299,86	0,45	36,12
MI b 4	313,21	311,08	311,93	312,07	1,07	5,26
MI 4	334,14	334,49	331,86	333,50	1,43	20,20
FA 4	355,54	352,42	351,46	353,14	1,07	19,28
FA # 4	374,99	373,51	371,70	373,40	1,65	15,86
SOL 4	394,22	394,39	392,20	393,60	1,22	7,09
SOL # 4	418,61	418,04	418,66	418,44	0,34	13,01
LA 4 (440 Hz)	445,84	446,20	445,62	445,89	0,29	23,01
SI b 4	470,22	471,15	469,54	470,30	0,81	15,31
SI 4	497,47	497,10	497,16	497,24	0,20	11,74
DO 5	525,06	527,72	527,32	526,70	1,43	11,37
DO # 5	559,04	558,76	558,09	558,63	0,49	13,27
RE 5	588,55	590,52	590,97	590,01	1,29	7,89
MI b 5	622,64	623,28	619,30	621,74	2,14	-1,43
MI 5	665,25	665,98	667,21	666,15	0,99	18,00
FA 5	711,41	710,11	710,12	710,55	0,75	29,71
FA # 5	753,41	753,99	752,06	753,15	0,99	30,53
SOL 5	799,61	797,03	801,71	799,45	2,34	33,81
SOL # 5	846,70	846,92	844,78	846,13	1,18	32,06
LA 5 (880 Hz)	892,81	897,98	896,18	895,66	2,62	30,53
SI b 5	941,73	948,47	943,20	944,47	3,54	22,40
SI 5	995,73	998,97	995,70	996,80	1,88	15,76
DO 6	1058,88	1062,91	1064,31	1062,03	2,82	25,50

LA 3 (220 Hz)	220,21	220,98	220,85	220,68	0,41	5,34
SI b 3	236,00	236,07	236,51	236,19	0,28	22,96
SI 3	252,87	252,49	252,98	252,78	0,26	40,45
DO 4	266,20	265,99	266,05	266,08	0,11	29,23
DO # 4	276,20	275,98	276,05	276,08	0,11	-6,92
RE 4	297,61	297,25	297,15	297,34	0,24	21,51
MI b 4	314,66	315,30	315,77	315,24	0,56	22,75
MI 4	336,27	335,51	336,32	336,03	0,45	33,32
FA 4	354,45	351,12	352,05	352,54	0,86	16,34
FA # 4	373,91	370,60	371,30	371,94	1,74	9,06
SOL 4	394,83	394,71	396,25	395,26	0,86	14,37
SOL # 4	419,10	419,97	417,42	418,83	1,30	14,63
LA 4 (440 Hz)	446,29	446,19	445,20	445,89	0,60	23,03
SI b 4	471,17	471,53	469,99	470,90	0,81	17,49
SI 4	498,22	498,23	497,02	497,82	0,70	13,76
DO 5	529,45	528,99	528,53	528,99	0,46	18,88
DO # 5	558,73	558,78	558,38	558,63	0,22	13,27
RE 5	590,57	594,36	591,69	592,21	1,95	14,32
MI b 5	623,97	624,82	625,67	624,82	0,85	7,12
MI 5	666,08	667,98	667,05	667,04	0,95	20,32
FA 5	713,18	710,46	711,75	711,80	1,36	32,75
FA # 5	752,90	753,47	752,68	753,02	0,41	30,21
SOL 5	795,96	797,15	797,94	797,02	1,00	28,53
SOL # 5	840,78	838,64	840,79	840,07	1,24	19,61
LA 5 (880 Hz)	897,44	897,30	896,16	896,97	0,70	33,06
SI b 5	947,02	949,42	949,19	948,54	1,32	29,85
SI 5	1001,78	1001,57	1002,21	1001,85	0,33	24,52
DO 6	1066,77	1066,19	1064,73	1065,90	1,05	31,79

LA 3 (220 Hz)	221,58	221,85	221,54	221,66	0,17	12,99
SI b 3	238,91	240,99	241,05	240,32	1,22	52,92
SI 3	250,39	252,69	252,54	251,87	1,29	34,23
DO 4	266,00	265,99	265,48	265,82	0,30	27,56
DO # 4	284,25	284,25	284,15	284,22	0,06	43,39
RE 4	296,48	296,61	296,38	296,49	0,11	16,58
MI b 4	316,13	314,53	316,16	315,61	0,93	24,75
MI 4	336,02	335,94	335,79	335,92	0,12	32,72
FA 4	352,51	352,19	352,24	352,31	0,09	15,23
FA # 4	373,29	372,85	373,60	373,25	0,38	15,15
SOL 4	395,82	395,76	396,85	396,14	0,61	18,22
SOL # 4	419,29	419,66	417,74	418,90	1,02	14,91
LA 4 (440 Hz)	446,39	447,16	446,36	446,64	0,45	25,92
SI b 4	472,73	471,22	472,09	472,01	0,76	21,59
SI 4	500,94	498,13	497,81	498,96	1,72	17,70
DO 5	528,02	528,10	527,17	527,76	0,52	14,87
DO # 5	559,45	558,76	559,44	559,22	0,40	15,08
RE 5	589,02	586,83	589,25	588,37	1,34	3,05
MI b 5	625,64	626,55	625,05	625,75	0,76	9,69
MI 5	664,50	665,16	665,67	665,11	0,59	15,31
FA 5	708,05	709,73	708,80	708,86	0,84	25,60
FA # 5	752,44	753,38	753,95	753,26	0,76	30,77
SOL 5	795,80	796,38	798,45	796,88	1,39	28,22
SOL # 5	843,30	839,44	842,06	841,60	1,97	22,76
LA 5 (880 Hz)	893,38	891,29	890,86	891,84	1,35	23,14
SI b 5	939,70	942,95	942,40	941,68	1,74	17,29
SI 5	1002,46	1002,38	1000,32	1001,72	1,21	24,28
DO 6	1070,48	1076,39	1073,71	1073,53	2,96	44,14

LA 3 (220 Hz)	221,09	221,53	221,36	221,33	0,22	10,41
SI b 3	235,07	236,65	235,89	235,87	0,79	20,59
SI 3	248,35	247,51	246,89	247,58	0,73	4,49
DO 4	262,64	262,63	262,91	262,73	0,16	7,27
DO # 4	283,78	282,44	283,06	283,09	0,67	36,53
RE 4	296,22	296,59	293,79	295,53	1,52	10,98
MI b 4	312,04	314,05	311,83	312,64	1,23	8,40
MI 4	331,55	330,57	329,36	330,49	1,10	4,54
FA 4	349,10	348,86	350,03	349,33	0,31	0,50
FA # 4	369,62	368,93	369,62	369,39	0,40	-2,83
SOL 4	392,53	390,85	390,81	391,40	0,98	-2,65
SOL # 4	414,06	414,94	415,55	414,85	0,75	-1,90
LA 4 (440 Hz)	442,60	440,54	441,87	441,67	1,04	6,56
SI b 4	464,16	463,19	463,88	463,74	0,50	-9,01
SI 4	490,38	491,46	488,81	490,22	1,33	-12,90
DO 5	520,69	519,13	521,86	520,56	1,37	-8,93
DO # 5	552,77	553,65	554,76	553,73	1,00	-2,00
RE 5	587,60	582,97	581,70	584,09	3,11	-9,58
MI b 5	614,78	618,06	616,18	616,34	1,65	-16,53
MI 5	656,32	653,91	652,94	654,39	1,74	-12,82
FA 5	698,09	696,77	698,15	697,67	0,78	-1,95
FA # 5	736,49	734,38	735,82	735,56	1,08	-10,38
SOL 5	780,84	777,61	778,82	779,09	1,63	-10,86
SOL # 5	823,36	824,61	829,98	825,98	3,52	-9,67
LA 5 (880 Hz)	889,93	880,49	883,86	884,76	4,78	9,34
SI b 5	933,65	929,65	933,70	932,33	2,32	0,01
SI 5	988,78	985,45	982,74	985,66	3,03	-3,70
DO 6	1056,85	1043,33	1043,97	1048,05	7,63	2,56

LA 3 (220 Hz)	219,56	218,84	218,41	218,94	0,58	-8,39
SI b 3	236,96	234,71	236,96	236,21	1,30	23,08
SI 3	249,67	247,02	248,32	248,34	1,33	9,75
DO 4	263,24	261,64	261,42	262,10	0,99	3,14
DO # 4	280,68	279,43	280,69	280,27	0,72	19,16
RE 4	295,06	294,24	293,55	294,28	0,76	3,64
MI b 4	310,07	309,95	309,95	309,99	0,07	-6,34
MI 4	331,35	329,53	330,20	330,36	0,92	3,84
FA 4	350,78	348,09	348,38	349,08	0,74	-0,72
FA # 4	370,31	367,92	368,30	368,84	1,28	-5,39
SOL 4	391,84	391,22	394,01	392,36	1,47	1,59
SOL # 4	414,09	411,60	414,29	413,33	1,50	-8,27
LA 4 (440 Hz)	440,97	438,04	440,30	439,77	1,54	-0,91
SI b 4	465,43	464,67	464,81	464,97	0,40	-4,44
SI 4	492,15	490,22	491,07	491,15	0,97	-9,62
DO 5	522,87	523,17	522,50	522,85	0,34	-1,34
DO # 5	553,48	548,85	552,75	551,69	2,49	-8,36
RE 5	583,77	581,06	582,41	582,41	1,36	-14,55
MI b 5	618,07	613,98	614,06	615,37	2,34	-19,26
MI 5	653,73	660,44	653,01	655,73	4,10	-9,29
FA 5	696,78	696,09	696,79	696,55	0,40	-4,72
FA # 5	737,86	731,85	744,57	738,09	6,36	-4,44
SOL 5	781,64	781,60	783,61	782,28	1,15	-3,77
SOL # 5	834,10	829,33	830,06	831,16	2,57	1,15
LA 5 (880 Hz)	891,23	888,57	891,27	890,36	1,55	20,26
SI b 5	934,38	934,43	934,25	934,35	0,09	3,76
SI 5	991,43	990,21	992,82	991,49	1,31	6,51
DO 6	1052,07	1050,09	1051,35	1051,17	1,00	7,70

LA 3 (220 Hz)	222,43	224,17	227,62	224,74	2,64	36,90
SI b 3	235,02	235,11	233,34	234,49	1,00	10,43
SI 3	248,20	247,58	247,27	247,68	0,47	5,19
DO 4	260,23	262,37	261,75	261,45	1,10	-1,16
DO # 4	284,35	281,85	284,06	283,42	1,37	38,53
RE 4	295,88	296,23	295,15	295,75	0,55	12,27
MI b 4	311,85	311,92	310,62	311,46	0,73	1,87
MI 4	332,11	332,91	331,16	332,06	0,88	12,73
FA 4	350,45	349,37	350,27	350,03	0,29	3,97
FA # 4	369,22	361,64	369,25	366,70	4,39	-15,47
SOL 4	392,81	391,45	392,55	392,27	0,72	1,21
SOL # 4	413,72	414,41	415,01	414,38	0,65	-3,86
LA 4 (440 Hz)	443,22	445,71	443,07	444,00	1,48	15,67
SI b 4	467,83	467,54	464,44	466,60	1,88	1,63
SI 4	494,37	494,47	493,61	494,15	0,47	0,93
DO 5	521,31	523,38	521,75	522,15	1,09	-3,66
DO # 5	552,13	549,99	550,24	550,79	1,17	-11,21
RE 5	585,89	584,90	583,90	584,90	1,00	-7,19
MI b 5	620,23	616,85	617,27	618,12	1,84	-11,55
MI 5	657,08	655,87	657,69	656,88	0,93	-6,25
FA 5	706,09	700,76	702,09	702,98	2,77	11,18
FA # 5	748,49	745,97	749,21	747,89	1,70	18,39
SOL 5	794,50	791,81	796,49	794,27	2,35	22,54
SOL # 5	841,44	838,07	840,93	840,15	1,82	19,77
LA 5 (880 Hz)	890,56	889,84	888,58	889,66	1,00	18,90
SI b 5	937,08	936,40	942,44	938,64	3,31	11,68
SI 5	995,58	999,64	1002,28	999,17	3,37	19,87
DO 6	1058,72	1059,47	1052,81	1057,00	3,65	17,28

LA 3 (220 Hz)	222,17	221,98	222,05	222,07	0,10	16,19
SI b 3	234,05	234,25	235,06	234,45	0,53	10,16
SI 3	248,42	247,36	248,95	248,24	0,81	9,10
DO 4	262,96	262,30	261,26	262,17	0,86	3,62
DO # 4	281,49	282,80	282,22	282,17	0,66	30,87
RE 4	294,96	296,36	295,83	295,72	0,71	12,05
MI b 4	313,09	312,46	311,76	312,44	0,67	7,26
MI 4	331,32	331,37	332,14	331,61	0,46	10,38
FA 4	350,12	349,70	349,71	349,84	0,12	3,05
FA # 4	369,90	370,46	367,34	369,23	1,66	-3,56
SOL 4	390,04	388,76	392,49	390,43	1,90	-6,93
SOL # 4	414,24	413,53	414,90	414,22	0,69	-4,51
LA 4 (440 Hz)	444,38	442,34	445,03	443,92	1,40	15,34
SI b 4	468,11	468,65	466,61	467,79	1,06	6,03
SI 4	494,93	493,95	492,90	493,93	1,02	0,15
DO 5	523,77	522,54	521,89	522,73	0,95	-1,71
DO # 5	554,75	554,17	554,13	554,35	0,35	-0,05
RE 5	588,39	587,07	587,69	587,72	0,66	1,14
MI b 5	620,71	620,05	620,66	620,47	0,37	-4,96
MI 5	658,46	659,11	659,06	658,88	0,36	-0,99
FA 5	702,11	704,87	706,83	704,60	2,37	15,17
FA # 5	753,33	746,66	751,91	750,63	3,51	24,73
SOL 5	793,76	791,70	788,95	791,47	2,41	16,44
SOL # 5	840,06	838,80	840,80	839,89	1,01	19,23
LA 5 (880 Hz)	890,56	891,63	892,61	891,60	1,03	22,67
SI b 5	929,63	937,47	935,65	934,25	4,10	3,57
SI 5	963,95	964,61	973,32	967,29	5,23	-36,26
DO 6	1049,48	1048,98	1049,15	1049,20	0,25	4,46

LA 3 (220 Hz)	218,49	220,98	220,84	220,10	1,40	0,81
SI b 3	233,80	234,73	234,31	234,28	0,47	8,88
SI 3	253,22	250,99	250,35	251,52	1,51	31,80
DO 4	260,24	264,01	264,05	262,77	2,19	7,53
DO # 4	283,85	283,20	283,56	283,54	0,33	39,24
RE 4	293,49	296,59	295,72	295,27	1,60	9,42
MI b 4	308,23	314,08	314,39	312,23	3,47	6,15
MI 4	333,22	329,87	331,30	331,46	1,68	9,61
FA 4	348,34	348,87	349,50	348,90	0,29	-1,61
FA # 4	367,86	372,30	368,52	369,56	2,40	-2,03
SOL 4	389,88	391,16	390,71	390,58	0,65	-6,25
SOL # 4	414,10	414,21	413,62	413,98	0,31	-5,54
LA 4 (440 Hz)	439,97	441,72	443,04	441,58	1,54	6,19
SI b 4	464,51	466,13	467,22	465,95	1,36	-0,78
SI 4	492,23	493,70	492,35	492,76	0,82	-3,94
DO 5	524,66	522,59	524,48	523,91	1,15	2,18
DO # 5	553,25	555,60	556,03	554,96	1,50	1,86
RE 5	587,14	584,63	583,76	585,18	1,76	-6,36
MI b 5	618,82	620,75	619,96	619,84	0,97	-6,72
MI 5	659,80	662,53	657,76	660,03	2,39	2,03
FA 5	700,19	702,22	704,91	702,44	2,37	9,85
FA # 5	737,85	742,50	741,83	740,73	2,51	1,73
SOL 5	780,26	788,36	786,24	784,95	4,20	2,12
SOL # 5	836,06	834,71	832,71	834,49	1,69	8,08
LA 5 (880 Hz)	891,23	886,60	895,99	891,27	4,70	22,04
SI b 5	939,03	944,30	946,40	943,24	3,80	20,15
SI 5	996,88	996,28	998,25	997,14	1,01	16,35
DO 6	1051,97	1056,80	1054,81	1054,53	2,43	13,22

LA 3 (220 Hz)	219,78	217,63	220,33	219,25	1,43	-5,94
SI b 3	231,62	232,43	234,04	232,70	1,23	-2,86
SI 3	254,68	250,95	249,33	251,65	2,74	32,72
DO 4	263,08	264,50	265,17	264,25	1,07	17,28
DO # 4	283,50	283,33	276,50	281,11	3,99	24,36
RE 4	299,47	296,60	297,20	297,76	1,51	23,96
MI b 4	305,94	310,67	312,67	309,76	3,46	-7,62
MI 4	332,95	331,25	332,94	332,38	0,98	14,40
FA 4	346,53	347,52	355,12	349,72	2,35	2,45
FA # 4	372,32	369,75	372,25	371,44	1,46	6,75
SOL 4	393,67	392,25	397,46	394,46	2,69	10,85
SOL # 4	415,94	415,57	418,67	416,73	1,69	5,92
LA 4 (440 Hz)	439,78	442,43	444,67	442,29	2,45	9,00
SI b 4	463,82	468,82	455,15	462,60	6,92	-13,30
SI 4	499,19	499,33	497,87	498,80	0,81	17,14
DO 5	526,97	526,67	529,71	527,78	1,68	14,93
DO # 5	556,60	556,32	556,39	556,44	0,15	6,46
RE 5	589,97	591,02	589,22	590,07	0,90	8,06
MI b 5	620,24	624,22	626,37	623,61	3,11	3,77
MI 5	664,54	667,78	662,95	665,09	2,46	15,26
FA 5	705,10	713,25	708,47	708,94	4,10	25,79
FA # 5	744,64	758,16	752,61	751,80	6,80	27,42
SOL 5	799,18	802,57	798,15	799,97	2,31	34,92
SOL # 5	842,17	847,56	842,68	844,14	2,98	27,97
LA 5 (880 Hz)	884,73	888,41	888,45	887,20	2,14	14,10
SI b 5	935,90	939,38	938,56	937,95	1,82	10,40
SI 5	994,73	1001,09	998,94	998,25	3,24	18,28
DO 6	1049,91	1052,83	1054,60	1052,45	2,37	9,81

LA 3 (220 Hz)	221,77	222,13	219,79	221,23	1,26	9,65
SI b 3	236,45	236,37	237,28	236,70	0,50	26,67
SI 3	252,57	250,13	248,25	250,32	2,17	23,50
DO 4	266,83	265,34	266,02	266,06	0,75	29,12
DO # 4	284,93	282,02	282,36	283,10	1,59	36,59
RE 4	297,64	297,02	298,35	297,67	0,67	23,45
MI b 4	310,74	312,15	311,25	311,38	0,71	1,41
MI 4	331,71	333,54	334,25	333,17	1,31	18,49
FA 4	355,20	359,25	358,64	357,70	1,09	41,48
FA # 4	372,35	376,15	373,73	374,08	1,92	19,00
SOL 4	395,25	394,26	395,48	395,00	0,65	13,20
SOL # 4	415,75	412,98	414,68	414,47	1,40	-3,48
LA 4 (440 Hz)	442,50	442,98	443,02	442,83	0,29	11,11
SI b 4	468,75	469,58	470,23	469,52	0,74	12,42
SI 4	494,98	499,00	496,94	496,97	2,01	10,80
DO 5	523,33	528,33	526,69	526,12	2,55	9,46
DO # 5	555,67	559,34	557,52	557,51	1,84	9,79
RE 5	588,78	592,08	591,16	590,67	1,70	9,83
MI b 5	621,61	624,44	622,85	622,97	1,42	1,98
MI 5	661,43	660,72	664,67	662,27	2,11	7,91
FA 5	706,44	709,31	709,40	708,38	1,68	24,43
FA # 5	748,26	753,95	747,13	749,78	3,66	22,76
SOL 5	794,42	798,06	791,31	794,60	3,38	23,26
SOL # 5	830,06	842,99	837,48	836,84	6,49	12,94
LA 5 (880 Hz)	886,13	889,25	893,50	889,63	3,70	18,84
SI b 5	937,37	945,48	945,21	942,69	4,61	19,13
SI 5	995,55	997,70	997,85	997,03	1,29	16,17
DO 6	1052,77	1057,69	1054,24	1054,90	2,53	13,84

LA 3 (220 Hz)	220,90	220,36	219,45	220,24	0,73	1,86
SI b 3	234,65	236,27	235,37	235,43	0,81	17,35
SI 3	251,31	250,08	246,75	249,38	2,36	17,01
DO 4	266,07	264,60	269,83	266,83	2,70	34,12
DO # 4	284,05	283,54	283,22	283,60	0,42	39,65
RE 4	296,75	295,91	298,48	297,05	1,31	19,82
MI b 4	311,75	311,37	312,91	312,01	0,80	4,91
MI 4	334,75	335,46	333,58	334,60	0,95	25,90
FA 4	352,42	351,57	350,46	351,48	0,49	11,14
FA # 4	373,58	372,57	367,85	371,33	3,06	6,25
SOL 4	395,50	395,29	393,16	394,65	1,29	11,68
SOL # 4	417,80	417,58	419,38	418,25	0,98	12,25
LA 4 (440 Hz)	445,03	445,37	446,42	445,61	0,72	21,92
SI b 4	472,31	472,87	470,18	471,79	1,42	20,76
SI 4	499,40	499,62	495,60	498,21	2,26	15,09
DO 5	529,61	527,60	529,93	529,05	1,26	19,07
DO # 5	559,29	557,03	555,41	557,24	1,95	8,96
RE 5	584,25	585,05	587,20	585,50	1,53	-5,40
MI b 5	622,97	619,55	621,41	621,31	1,71	-2,63
MI 5	658,50	662,34	662,64	661,16	2,31	5,00
FA 5	706,94	709,15	711,72	709,27	2,39	26,60
FA # 5	743,35	752,58	750,14	748,69	4,78	20,24
SOL 5	787,47	798,59	798,52	794,86	6,40	23,84
SOL # 5	825,30	838,16	840,79	834,75	8,29	8,61
LA 5 (880 Hz)	876,35	887,75	892,62	885,57	8,35	10,93
SI b 5	929,60	939,83	933,74	934,39	5,15	3,83
SI 5	986,72	993,62	992,65	991,00	3,74	5,65
DO 6	1040,59	1045,82	1040,51	1042,31	3,04	-6,95