



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Análisis de las propiedades acústicas
del trombón y su aplicación en el aula
de viento-metal mediante las TIC

Juan Carlos Esteve Rico



Tesis **Doctorales**

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Análisis de las propiedades acústicas del trombón y su aplicación en el aula de viento-metal mediante las TIC

TESIS PRESENTADA PARA ASPIRAR AL GRADO DE
DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Universitat d'Alacant
Septiembre 2018
Universidad de Alicante

Director: Jorge Francés Monllor

Tutor: Sergi Gallego Rico

Juan Carlos Esteve Rico

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE FÍSICA APLICADA A LAS CIENCIAS Y LAS TECNOLOGÍAS
DPTO. FÍSICA, INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TEORÍA DE LA SEÑAL
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Agradecimientos

A Jenaro Vera Guarinos.

Por tu generosidad y buen hacer.

Sin tu esfuerzo, dedicación, tiempo y tutela esta tesis no habría sido posible.



Gracias, Jenaro

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Índice

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	15
1.1 MOTIVACIÓN	15
1.2 JUSTIFICACIÓN	16
1.3 METODOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	17
1.4 CONEXIÓN DEL MÁSTER CON LA TESIS.....	19
1.4.1 <i>El trombón de varas en España en la perspectiva actual de la prensa histórica.</i> <i>Siglos XIX -XXI</i>	<i>20</i>
1.4.1.1 Introducción	21
1.4.1.2 Estado del arte	21
1.4.1.3 Trombón de varas vs Trombón de pistones en España	25
1.4.1.4 Conclusiones	34
1.5 ANTECEDENTES	34
1.6 OBJETIVOS.....	37
1.7 PUBLICACIONES DERIVADAS DE ESTE TRABAJO.....	38
CAPÍTULO 2 LA IMPEDANCIA EN AULA DE VIENTO METAL: UNA PERSPECTIVA DOCENTE.....	41
2.1 RESUMEN	41
2.1.1 <i>La impedancia en los instrumentos aerófonos de viento metal. Principios teóricos.</i>	<i>41</i>
2.1.2 <i>La impedancia y la calidad sonora.....</i>	<i>42</i>
2.1.3 <i>La impedancia como herramienta de control de calidad.....</i>	<i>43</i>
2.1.4 <i>La impedancia y su relación con el material de construcción.....</i>	<i>44</i>
2.1.5 <i>La impedancia y el efecto de la adición de masas y/o Clappers externos.....</i>	<i>45</i>
2.2 LA IMPEDANCIA EN LOS INSTRUMENTOS AERÓFONOS DE VIENTO METAL. PRINCIPIOS TEÓRICOS.	47
2.2.1 <i>Cuerpo (Tubo semicerrado).</i>	48
2.2.2 <i>Campana (Recinto hiperbólico truncado).</i>	48
2.2.3 <i>Boquilla (Recinto de Helmholtz).</i>	50
2.3 LA IMPEDANCIA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA.....	57

2.3.1	<i>Análisis comparativo de la impedancia acústica del p-bone frente a otros trombones de su misma tesitura fabricados en metal</i>	58
2.3.1.1	Optimización numérica.....	60
2.3.1.2	Análisis comparativo de la impedancia.....	63
2.4	IMPEDANCIA; EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA.....	68
2.4.1	<i>Investigando las anomalías de un trombón de varas de alta gama en su respuesta en impedancia y en los resultados de un estudio perceptual</i>	69
2.4.1.1	Introducción.....	69
2.4.1.2	Material.....	70
2.4.1.3	Método.....	71
2.4.1.4	Resultados.....	75
2.4.1.5	Conclusiones.....	77
2.5	LA IMPEDANCIA; EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA. EL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	77
2.5.1	<i>Relación del espectro armónico con el material de construcción para la trompeta Máster Sib</i>	79
2.5.1.1	Introducción.....	79
2.5.1.2	Estado del arte.....	80
2.5.1.3	Material.....	83
2.5.1.4	Método.....	84
2.5.1.5	Conclusiones.....	89
2.6	IMPEDANCIA; EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA. LAS MASAS DINÁMICAS.....	91
2.6.1	<i>Primera fase: masas dinámicas y Clappers</i>	93
2.6.1.1	Estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un trombón de varas en función de su espectro de impedancia acústica.....	93
2.6.2	<i>Segunda fase: Masas dinámicas (Maxiclappers)</i>	105
2.6.2.1	Influencia de las campanas resonadoras (Maxiclappers) en la respuesta en impedancia y en el timbre de los instrumentos de viento metal.....	107
CAPÍTULO 3 LAS TIC EN EL AULA VIENTO METAL. UNA PERSPECTIVA DOCENTE.		119
.....		
3.1	RESUMEN	119
3.1.1	<i>Introducción. Uso de las TIC en la práctica docente</i>	120
3.1.2	<i>Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Conexión de contenidos entre la acústica musical y las enseñanzas de viento metal con el uso de las TIC</i>	120
3.1.3	<i>Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Análisis y caracterización del sonido</i>	121
3.1.4	<i>Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Nuevas herramientas docentes</i>	122
3.2	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA CON EL USO DE LAS TIC: CONEXIÓN DE CONTENIDOS ENTRE LA ACÚSTICA MUSICAL Y LAS ENSEÑANZAS DE VIENTO METAL CON EL USO DE LAS TIC	124

3.2.1	<i>Recursos didácticos para el desarrollo de la calidad del sonido en los alumnos de viento metal.</i>	125
3.2.1.1	Introducción	125
3.2.1.2	Contexto	126
3.2.1.3	Método	127
3.2.1.4	Muestra	128
3.2.1.5	Instrumentación	128
3.2.1.6	Procedimiento	130
3.2.1.7	Hipótesis	130
3.2.1.8	Resultados	131
3.2.1.9	Discusión	136
3.2.1.10	Conclusiones	137
3.3	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA CON EL USO DE LAS TIC: ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL SONIDO.	137
3.3.1	<i>Estudio de los errores más comunes en la ejecución del tono Fa3 en los instrumentos de viento metal: Análisis y caracterización acústica para su aplicación docente.</i>	138
3.3.2	<i>Introducción</i>	139
3.3.3	<i>Material</i>	139
3.3.4	<i>Método</i>	140
3.3.5	<i>Resultados</i>	141
3.3.5.1	Sonido Fa3 impostado (modelo de referencia)	142
3.3.5.2	Emisión del sonido Fa3 sin impostar	143
3.3.5.3	Sonido Fa3 con excesiva impostación o tensión en garganta	144
3.3.5.4	Sonido Fa3 con los dientes cerrados	146
3.3.5.5	Sonido Fa3 con labios apretados	147
3.3.5.6	Sonido Fa3 con los labios sueltos o musculatura átona	148
3.3.5.7	Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso A: Ataque contra los labios	149
3.3.5.8	Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso B: Ataque blando	150
3.3.5.9	Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso C: Ataque con campana	150
3.3.5.10	Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso D: Ataque duro o retenido	151
3.3.5.11	Sonido con lengua fuera de la posición de reposo (lengua en el medio)	152
3.3.5.12	Sonido Fa3 nasal	153
3.3.6	<i>Conclusiones</i>	154
3.4	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA CON EL USO DE LAS TIC: NUEVOS INSTRUMENTOS DOCENTES	157
3.4.1	<i>Evaluación de la influencia del tracto vocal y la vibración de los labios en los intérpretes de viento metal.</i>	160
3.4.1.1	Introducción	161
3.4.1.2	Material y método	164
3.4.1.3	Resultados	166
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS		175
4.1	CONCLUSIONES GENERALES DE LA TESIS	175

4.2 REFLEXIONES SOBRE EL CAPÍTULO 2 - LA IMPEDANCIA EN EL AULA DE VIENTO METAL. UNA PERSPECTIVA DOCENTE.	178
4.3 REFLEXIONES SOBRE EL CAPÍTULO 3 - LAS TIC EN EL AULA DE VIENTO METAL.....	179
4.4 LÍNEAS FUTURAS.....	180
BIBLIOGRAFÍA.....	183



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Índice de Figuras

Figura 1: Verdi, G. (2001). <i>La fuerza del destino</i> . Extracto orquestal 1861. Leipzig: Peters.	26
Figura 2: Publicidad de la tienda Montserrat. <i>Anuario musical de España, I (1930), nº 1.</i>	29
Figura 3: Ejemplo sobre el recorte de las frecuencias superiores al añadir la campana al tubo. En negro impedancia del tubo solo; en rojo impedancia de la campana+tubo. Adaptado de: Heller, E. (2013). <i>Why You Hear What You Hear</i> . Princeton: Princeton University Press, p.326.....	49
Figura 4: Ejemplo de las reflexiones sonoras en la campana de los aerófonos. Fuente: Heller, E. (2013). <i>Why You Hear What You Hear</i> . Princeton: Princeton University Press, p.321.....	50
Figura 5: Partes de la boquilla. Fuente: Stork, Phyllis (1989). <i>La boquilla y todo lo que hay que saber</i> . Vuarmarens: Ed. BIM.	51
Figura 6: Envoltente espectro impedancia trombón sin boquilla (naranja) – Envoltente del espectro de impedancia de la boquilla (Verde) – Envoltente del espectro de impedancia del trombón con boquilla (azul). Fuente: Heller, E. (2017) vía email al autor.....	52
Figura 7: Análisis de impedancias. Espectro armónico del trombón Bach 42 sin boquilla. Fuente: Figura realizado por el autor.	53
Figura 8: Frecuencias de resonancia de las boquillas analizadas en función de distintas longitudes de la parte troncocónica. Fuente: realizado por el autor.	54
Figura 9: Comparativa de la formante del espectro de impedancia en los casos analizados para distintas longitudes de la parte troncocónica de la boquilla. Fuente: realizado por el autor.	54
Figura 10: Resonancias armónicas de la trompeta completa respecto a las de un tubo abierto-cerrado. Fuente: Heller, E. (2013). <i>Why You Hear What You Hear</i> . Princeton: Princeton University Press, p.317...	55
Figura 11: Serie armónica con los 16 primeros parciales. Fuente: Realizada por el autor.....	56
Figura 12: Ejemplo gráfico de la influencia en la forma de onda con el aumento de la presión y cambio de la velocidad de propagación de carácter no lineal. Fuente: Myers et al. (2011).....	57
Figura 13: Trombón anexo al tubo de impedancia en la cámara anecoica de la UA. Fuente: fotografía del autor.	58
Figura 14: (a) Perfil cónico de longitud L y radios a_1L_i y a_2L_i . (b) Representación simplificada de la bocina en sección.	61
Figura 15: Curvas de impedancia para los diferentes trombones.	65

Figura 16: Curvas de impedancia para el trombón Bach42 antes (a) y después (b) de la reparación junto con la optimización con Nelder-Mead.....	67
Figura 17: Espectro de la respuesta en frecuencia de la impedancia del Bach42 antes de la reparación y del Yamaha YSL354.....	70
Figura 18: Resultados de la audición acusmática.....	71
Figura 19: Comparativa del trombón Bach 42 antes de ser reparado (rojo) y después (Azul).....	75
Figura 20: Comparativa Bach reparado con los resultados obtenidos en la Figura 19 (trombón Stomvi)....	76
Figura 21: (Izquierda) Campanas y cuerpo de la trompeta. (Derecha) Disposición de medios de grabación: micrófono Behringer, y de contacto con el transductor Schertler Dyn Uni P48.....	83
Figura 22: Espectro contacto para la nota Sib3 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	85
Figura 23: Espectro contacto para la nota Re6 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	85
Figura 24: . Espectro aéreo para la nota Sib3 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	86
Figura 25: Espectro aéreo para la nota Re6 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	86
Figura 26: Espectro contacto para la nota Re5 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	87
Figura 27: Espectro aéreo para la nota Re5 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	87
Figura 28: Tiempo de reverberación estructural para las campanas 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	88
Figura 29: Espectro de la respuesta a percusión de las campanas 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).....	89
Figura 30: (Izquierda) Tubo de impedancia desarrollado junto con el trombón y configuración de medida. (Derecha) Imagen del Clapper.....	92
Figura 31: Tipos de masas dinámicas y Clapper.....	95
Figura 32: Clapper con campanilla.....	99
Figura 33: Tapón Clapper sin campanilla.....	99
Figura 34: Tapón Clapper plata sin campanilla.....	100
Figura 35: Clapper sin campanilla+plastilina+monedas.....	101
Figura 36: Clappler sin campanilla+plastilina+plomo.....	102
Figura 37: Sin tapón en el transpositor.....	102
Figura 38: Promedio de las valoraciones del trombón con diferentes masas dinámicas tras la audición del concertino de F. David.....	104
Figura 39: Masa dinámica, Clapper y MaxiClapper.....	108
Figura 40: (a) Conjunto experimental utilizado para las medidas. (b) Posición relativa trompeta-micrófono en el momento de la medida. Músico D. Pacho Flores.....	109
Figura 41: Notas analizadas para la trompeta Stomvi en Sib.....	110
Figura 42: Fa4 con y sin MaxiClapper- Bomba cuadrada.....	111
Figura 43: Sib5 con y sin MaxiClapper- Bomba cuadrada.....	111
Figura 44: Sib 3 con y sin MaxiClapper- Bomba redonda.....	112
Figura 45: Sib 3 con y sin MaxiClapper- Bomba cuadrada.....	112
Figura 46: Lab 4 con y sin MaxiClapper- Bomba cuadrada.....	113
Figura 47: Sib 4 con y sin MaxiClapper- Bomba redonda.....	113
Figura 48: La 4 con y sin MaxiClapper- Bomba cuadrada.....	114
Figura 49: Sib 5 con y sin MaxiClapper- Bomba cuadrada.....	115

<i>Figura 50: (Izquierda) Disposición material utilizado. (Derecha) Demostración del funcionamiento del accesorio Upsound unido a la boquilla.</i>	129
<i>Figura 51: Alumno 5 – Comparativa– Sib2 con boquilla 17.4 mbar (línea gruesa) y boquilla más Upsound 20.3 mbar (línea fina).</i>	131
<i>Figura 52: Esquema de la secuencia utilizada.</i>	132
<i>Figura 53: Alumno 62. Resultado de la secuencia descrita al analizar con el Audacity la evolución temporal del sonido. El eje vertical representa la amplitud en unidades arbitrarias y el eje horizontal el tiempo en segundos.</i>	132
<i>Figura 54: Evolución temporal del sonido para alumno 102.</i>	133
<i>Figura 55: Evolución estabilidad sonora y articulación Fa3 para alumno 114.</i>	134
<i>Figura 56: Esquema nombres del espectro armónico.</i>	135
<i>Figura 57: Comparativa espectro armónico alumno 112. Evolución pistas 2 y 3.</i>	135
<i>Figura 58: Material utilizado para la realización y desarrollo del trabajo de campo.</i>	140
<i>Figura 59: Espectro armónico del sonido impostado.</i>	143
<i>Figura 60: Espectro armónico Fa3 sin impostar.</i>	144
<i>Figura 61: Espectro para Fa3 con tensión garganta.</i>	145
<i>Figura 62: Espectro armónico para el Fa3 con dientes cerrados.</i>	146
<i>Figura 63: Espectro armónico para Fa3 con labios apretados.</i>	147
<i>Figura 64: Espectro armónico para Fa3 con labios sueltos.</i>	149
<i>Figura 65: Imagen del espectro armónico. Modos de ataque ABCD para Fa3.</i>	152
<i>Figura 66: Espectro armónico para fa3 lengua en el medio.</i>	153
<i>Figura 67: Espectro armónico para Fa3 nasal.</i>	154
<i>Figura 68: Comparativa espectros armónicos del Sib2 con boquilla con exceso de presión para el alumno 11 (37,4 mbar) (izquierda) y con los valores propuestos por el profesor, alumno 10 (10,3 mbar) (derecha).</i>	158
<i>Figura 69: Alumno 5 - Comparativa estabilidad armónica - Sib2 con boquilla 17.4 mbar (rojo) y boquilla más Upsound 20.3 mbar (azul).</i>	159
<i>Figura 70: Ecuaciones de continuidad del flujo (Gasto) y de Bernoulli.</i>	162
<i>Figura 71: Imagen del material utilizado.</i>	164
<i>Figura 72: Secuencia del método utilizado para la adquisición de datos.</i>	165
<i>Figura 73: (Izquierda) Captura del software Audacity donde se representa la evolución temporal del sonido. El eje vertical es la amplitud en unidades arbitrarias (normalizadas) y el horizontal el tiempo en segundos. (Derecha) Captura del software Spear donde se representa el espectro armónico donde el eje vertical representa la frecuencia en Hz y el horizontal el tiempo en segundos. Caso 62 - Profesor.</i>	169
<i>Figura 74: (Izquierda) Captura del software Audacity donde se representa la evolución temporal del sonido. El eje vertical es la amplitud en unidades arbitrarias (normalizadas) y el horizontal el tiempo en segundos. (Derecha) Captura del software Spear donde se representa el espectro armónico donde el eje vertical representa la frecuencia en Hz y el horizontal el tiempo en segundos. Caso 53 - Alumno.</i>	170
<i>Figura 75: (Izquierda) Captura del software Audacity donde se representa la evolución temporal del sonido. El eje vertical es la amplitud en unidades arbitrarias (normalizadas) y el horizontal el tiempo en segundos.</i>	

(Derecha) Captura del software Spear donde se representa el espectro armónico donde el eje vertical representa la frecuencia en Hz y el horizontal el tiempo en segundos. Caso 43 - Alumno..... 171



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Tabla resumen de las curvas de impedancia de los trombones analizados.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 2: Resultados de la optimización con Nelder-Mead.</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 3: Parámetros de la optimización antes y después de la reparación del trombón Bach42.</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 4: Resumen de los resultados para las notas estudiadas en cada campana.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 5: Resultados del efecto sonoro que tienen las masas dinámicas y Clappers del transpositor del trombón sobre la afinación.</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 6: Resultados individuales de la audición del Concierto de F. David con las diferentes masas dinámicas del trombón, y desviación típica de cada encuesta. Resultados individuales y desviación típica de cada encuesta.</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 7: Resumen comparativo del espectro armónico con respecto del modelo establecido.</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 8: Resumen comparativo características musicales e interpretativas con respecto al modelo establecido.</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 9: Promedio de presión intraoral y casos particulares (profesores).</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 10: Promedio de presión sonora y casos particulares (profesores).</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 11: Afinación y casos particulares.</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 12: Frecuencia de corte superior y casos particulares.</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 13: Ruido y casos particulares.</i>	<i>167</i>

GLOSARIO

En este apartado se especifican conceptos y definiciones que usamos a lo largo del texto y que su conocimiento previo puede servir para contextualizar la lectura de forma adecuada al espíritu con el que se han utilizado, ya que en el texto están implicadas distintas formas de ver el mismo fenómeno o concepto:

Articulación

Golpe de la lengua contra los dientes (picado) o el paladar (ligado), según el caso, para caracterizar y definir cada sonido.

Audacity

Software de libre acceso utilizado para grabar los sonidos y posteriormente analizarlos con el *Software Spear*. Además, se ha usado para observar la evolución temporal del sonido y la presión sonora. Es de gran utilidad para visualizar la estabilidad de la columna del aire.

Brassy

Cuando la presión aumenta lo suficiente y la velocidad de propagación cambia, la forma de onda sufre una distorsión de pendiente positiva abrupta. Cuando este efecto se hace más pronunciado se produce un cambio distinto en el timbre. Vulgarmente se suele decir que el sonido se rompe puesto que las frecuencias agudas se perciben de forma estridente.

Conmusic

Congreso internacional sobre la psicología de la educación celebrado en Madrid (UNED).

Edulearn

Congreso internacional de educación de Barcelona.

Emisión

Llamamos emisión al momento en el que la fuente de vibración produce el sonido.

Euroregio

Congreso Ibérico de acústica (Portugal).

Flexibilidad

Enlace de los sonidos manteniendo la homogeneidad y estabilidad sonora.

Frecuencia de corte

Registro agudo cercano a la pérdida de respuesta de los instrumentos de viento metal al paso del aire. Cuando la respuesta en impedancia desaparece o es casi nula.

Formante

Caracterización específica del espectro armónico causada por el efecto de la boquilla que recorta las frecuencias inferiores y amplifica las centrales, y de la campana que recorta las frecuencias superiores y desplaza la serie armónica del instrumento, formando una nueva serie armónica con armónicos pares e impares.

Impedancia

En física: es la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan.

En música. Es la respuesta u oposición del instrumento a la fuente de vibración del intérprete.

Índice acústico

El índice acústico es la numeración internacional que reciben cada uno de los armónicos que componen la serie armónica.

Manómetro de presión

Se ha utilizado el manómetro de presión para medir la presión intraoral de los diferentes casos analizados. Para ello se ha introducido una cánula en por la comisura del labio y se han establecido patrones en base al valor medio de las medidas. La presión intraoral es muy útil para detectar incorrecciones en la columna del aire que imposibilitan una vibración labial óptima.

Masas dinámicas

Las masas dinámicas son pesos que se añaden sobre la estructura exterior del instrumento y que actúan levemente sobre la formante del instrumento. Diferenciamos entre *Clapper* que es el nombre que la firma Stomvi da a la masa dinámica y *Maxiclapper*, de la misma casa, el cual tiene la función de la masa dinámica pero además, pretende aportar una mayor respuesta al paso del aire en la zona cercana a la frecuencia de corte del instrumento.

MND

Método No Destructivo para el análisis de la calidad sonora de los instrumentos de viento.

Parciales

La serie armónica está compuesta por armónicos los cuales se corresponden con cada una de las resonancias propias del instrumento. A su vez cada armónico o nota resonante está compuesto por parciales resonantes, es decir, el rango de frecuencias consonantes y disonantes que resuenan en cada sonido armónico (espectro armónico).

Pbone

Trombón de plástico.

SEA

Sociedad Española de Acústica.

Sonido brillante

Sonido caracterizado por la intensidad de las resonancias de los armónicos superiores de forma clara (no estridente).

Sonido oscuro

Sonido caracterizado por la carencia de resonancias de los armónicos superiores

Serie armónica

Conjunto de resonancias propias del instrumento y que se modifican al cambiar la longitud del instrumento con las diferentes posiciones. Las resonancias de la serie armónica están definidas por la longitud total del tubo, la campana que recorta las frecuencias superiores y la boquilla que recorta las frecuencias inferiores y amplifica las frecuencias centrales a razón de su propia frecuencia resonante.

Spear

Software de libre acceso utilizado para el análisis de la calidad del sonido. Para ello se tienen en cuenta los patrones de intensidad de los parciales, número de parciales resonantes, inarmonicidad, estabilidad temporal del sonido y afinación desde el momento del ataque.

Tecniacústica

Congreso internacional organizado por la SEA.

TIC

Tecnologías de la Información y de la Comunicación

Tono pedal

Es el primer armónico resonante en un tubo semicerrado. Cabe no tener en cuenta su frecuencia, es decir, podemos tener tantos tonos o notas pedales como distintas posiciones o formas de obtener armónicos tenga el instrumento. También se suele llamar fundamental, pero este término puede dar lugar a confusión porque cualquier nota puede ser la fundamental de un acorde o bien el sonido fundamental emitido, sin necesidad de que esta coincida con el tono pedal.

Tubo de impedancia

Sistema para el estudio y obtención de las propiedades acústicas de los materiales o elementos analizados. En este caso pertenecientes a la familia de los aerófonos de metal. Se ha usado un tubo de impedancia con diferentes posiciones para los micros con la finalidad de abarcar con certeza la respuesta de los diferentes registros (grave, medio y agudo) de los instrumentos analizados.

UNED

Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Upsound

Accesorio desarrollado por la firma Stomvi cuya finalidad es trabajar la musculatura intraoral del instrumentista en el momento del estudio con boquilla. Para ello se sirve de una resistencia que obstruye el paso del aire durante la práctica de la boquilla con Upsound.

Ultrasonidos

Se utilizan asiduamente para limpiar la suciedad y grasa acumulada en la tubería de los instrumentos. Para ello es necesaria una dosis pequeña de ácido que se mezcla en el tanque de agua sobre el que ejercen presión las ondas sonoras.

Zona de máximos

Zona de máxima resonancia o respuesta del instrumento como resultado de la acción de campana y boquilla.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Existe una carencia total en estudios científicos tecnológicos en España sobre la construcción y creación de instrumentos musicales en general y en particular del trombón o sus familiares cercanos de viento-metal, dicha carencia refleja la falta de iniciativas de política científico-cultural en nuestro país en particular.

Por lo que es imposible que los conocimientos acústicos que gobiernan la esencia del fenómeno musical hayan podido influenciar en alguna de las facetas que envuelven la industria musical, ni a los músicos-intérpretes, ni a los docentes de estas disciplinas.

Es por lo que opté por tomar un camino arduo, desde mi formación de músico de conservatorio y docente clásico, que me ha llevado a descubrir los fenómenos acústicos básicos que gobiernan el sonido del trombón de varas, se podría decir que dicha decisión se ha convertido en una especie de transfiguración.

Este tránsito me ha ofrecido la posibilidad de desarrollar una metodología novedosa que apoyada en las TIC se puede aplicar con éxito de forma complementaria a la docencia que se desarrolla en las aulas de viento metal en general. La exposición de estos hechos está por supuesto centrada en el instrumento del que soy especialista.

La presente tesis se encuentra entre los campos de la acústica musical, la docencia y la música. Es decir, este trabajo no sólo se centra en la acústica del trombón, sino que, también trata temas que atañen a todos los instrumentistas de viento metal en su formación, como: la evaluación de la calidad del sonido. En la presente tesis se facilitan, como novedad,

herramientas para evaluar la calidad del sonido, que son de gran utilidad para la docencia de las enseñanzas musicales.

1.2 Justificación

Desde que era niño, en mis primeros años de educación con el trombón de varas, me han repetido continuamente que el secreto del éxito era: “Práctica y después, más práctica...” No quiero decir con esto que tocar y volver a tocar el trombón o cualquier otro instrumento no sea necesario, es a todas luces imprescindible si se quiere llegar a poder interpretar la música escrita en una partitura. Ese espíritu lo teníamos tan interiorizado que según nos íbamos haciendo mayores emulábamos a los dichos de la sabiduría popular inventando máximas como: “sopla ahí dentro y no pienses” o “cuando peor estés tocando entonces no pares, a algún sitio llegarás”. Frases que usábamos entre los compañeros cuando estábamos hastiados y que lograban hacernos sonreír.

El recuerdo de esta situación viene de una reflexión más profunda: ¿Era esto lo que nos unía con nuestro profesor? Estos hechos sólo hacían que reforzar la voluntad de superación en la práctica diaria del instrumento.

Con esto no pretendo vilipendiar la imagen del docente, entre los que me incluyo. Y no debemos olvidar que somos la vía por los que tantos alumnos encuentran el camino que les conduce a la satisfacción personal. Pero también, somos culpables en parte en el fracaso cuando estos pierden la motivación hacia una asignatura.

Al barajar estos elementos con la madurez que provee la adquisición de nuevos conocimientos de otras disciplinas distintas y también al hecho de cambiar de lado en el mundo docente; pasar de alumno a profesor me ha llevado a la certeza que ampliar el campo de conocimiento respecto a la programación curricular clásica (aprendizaje por imitación) de los conservatorios puede ser de gran utilidad. Pues dejando a un lado los casos de abandono por desinterés, tenemos un alumnado que a pesar de mostrar voluntad, ilusión y casi pasión por tocar algún día un instrumento, nos cuesta ayudar y motivar como docentes, a veces llegando a la desesperación porque, hasta dentro de este grupo “selecto”, cuando intentamos transmitir el porqué determinadas formas de abordar una interpretación no son las idóneas (pues se consigue un mal sonido), nos encontramos faltos de herramientas con las que verbalizar esa sensación que no sea el manido “¡ Eso no está bien ¡”.

Creo que es el tiempo de superar este presente donde continuamos como en antaño: cuando el mejor intérprete ilustraba a los aprendices aleccionándoles con un modelo para

imitar y un sinfín de orientaciones para conseguirlo. Así ha sido, y es la formación instrumental para los alumnos de viento metal. La imitación y atención a las orientaciones del profesor son la clave para desarrollar patrones de interpretación correctos. El éxito radica, aparte de los valores innatos, en la capacidad individual para imitar y atender a las orientaciones, así como la disciplina y perfección en el estudio o práctica.

Sin duda, este proceso de enseñanza funciona, pues son muchos los grandes intérpretes que ha habido y existen en la actualidad. Intérpretes que han crecido sin la conexión entre la acústica musical y el aprendizaje de viento metal, y a pesar de esto han obtenido el reconocimiento por su buen hacer.

Podemos considerar lo dicho como el pretexto por el que se aborda la presente tesis. Alzar una lanza en favor de la unión entre la acústica musical y la docencia instrumental en el aula de viento metal. Planteándolo como herramienta docente en beneficio del alumnado.

El presente trabajo no pretende que se sustituya el conocimiento y técnica instrumental fruto de la dedicación de tantas generaciones, ni siquiera supone una crítica frontal a la ausencia de formación acústica en el currículo del alumnado de viento metal de las enseñanzas profesionales, a pesar de la evidente relación y necesidad en su formación. Sino que debe entenderse como un complemento a la formación docente e instrumental, una herramienta o recurso más a nuestro favor para la enseñanza.

1.3 Metodología y organización de la tesis

En primer lugar, hay que destacar que la presente tesis presenta un glosario de términos que pretende facilitar tanto los lectores que provienen de un campo más cercano a la Física, o bien de la Música, un conjunto de términos heterogéneos de estas dos diferentes disciplinas. También se incluye un índice de figuras y de tablas con la intención de que el lector pueda consultar cualquier término o vocablo utilizado o acceder rápidamente a cualquier figura o tabla del texto.

El cuerpo principal que constituye esta tesis lo he secuenciado de la siguiente forma:

En primer lugar, el Capítulo 1 de Introducción se plantea con claridad el ámbito de aplicación de la presente tesis y cuáles son las aportaciones que conlleva. En este capítulo también se introduce la justificación y la motivación (punto 1.1 y punto 1.2 respectivamente) que me han llevado a desarrollar la presente tesis. En este capítulo se incluye la presente explicación de la metodología y organización de la tesis, punto en el que se estructura la

secuencia de contenidos del presente estudio. Seguidamente, se plantean los antecedentes o estado de la cuestión básico del que partimos en el primer momento en el punto 1.4, y finalmente en el punto 1.5, se muestra un pequeño trabajo de investigación histórica con la pretensión de hacer de puente entre las enseñanzas del Máster de corte humanístico, que realicé en la Universidad de Murcia, con el contenido principal de la tesis. La presente tesis doctoral, parte de experiencias realizadas en el laboratorio de acústica del Departamento de Física Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal (DFISTS) de la Universidad de Alicante sobre la respuesta en impedancia del trombón de varas, y finaliza realizando una transposición de las diversas técnicas y uso de instrumentación científica para el campo docente que abarca la acústica y las enseñanzas musicales, en las que trabajo como profesor de trombón de varas en los conservatorios profesionales de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Tras este bloque que queda englobado en el epígrafe de Introducción, encontramos en los capítulos 2 y 3 los principales contenidos desarrollados en la investigación. Cada uno de estos capítulos presentan sendos resúmenes donde se muestran los planteamientos, objetivos, resultados y se narra de forma escueta cuáles han sido las conclusiones de cada una de las experiencias realizadas, así como su utilidad en la aplicación docente posterior. A lo largo de esta tesis se han publicado una serie de comunicaciones y trabajos en congresos tanto específicos del ámbito de la Acústica como de la Educación y la docencia organizados por la Sociedad Española de Acústica (SEA), CONNMUSICA, EDULEARN, entre otros. Estos trabajos se recogen a lo largo de los capítulos 2 y 3 de forma secuenciada y adaptados tanto en formato como en texto a la presente tesis con el objetivo de presentar un documento que recoja a modo de compendio de publicaciones todo el trabajo realizado, sin perder la cohesión y el hilo conductor de una tesis tradicional. Por ello, cada uno de estos capítulos además del resumen anteriormente mencionado contiene una serie de resultados y conclusiones intermedias que siguen la filosofía de los trabajos publicados a lo largo de las diferentes comunicaciones realizadas.

Por esta razón el estado del arte de la investigación realizada se concreta y profundiza en cada una de las secciones que contemplan cada trabajo en cuestión. Sin embargo, debido a una gran base de las referencias comunes a ambos capítulos, consideramos que es conveniente homogenizar y reunir la bibliografía de toda la tesis en una única sección al final de este documento. Creemos que el modelo elegido es el más sincero y a la vez dota

de amplitud al trabajo realizado, al evitar compendiar en un solo epígrafe la variedad de temas tratados a lo largo del desarrollo de esta tesis.

El contenido principal de los diferentes puntos en el presente texto contiene la siguiente estructura: contextualización de los objetivos a trabajar, estado del arte, metodología y material utilizado, resultados y conclusiones.

Con ello, se consigue con exactitud y precisión definir el estado del arte, la bibliografía y metodología, amén de presentar los resultados y su función como herramienta docente.

Por tanto, los antecedentes que presentamos en 1.4 suponen un estado del arte previo o punto de partida general de la presente investigación y con la pretensión de profundizar en ellos, según el punto que tratemos a lo largo de los capítulos 2 y 3.

En el capítulo 4 encontramos las conclusiones generales de la tesis, así como una perspectiva de futuro o siguientes pasos que derivan del presente trabajo.

1.4 Conexión del máster con la tesis

El TFM que realicé en la Universidad de Murcia en 2014 se tituló “La construcción del trombón de varas en España. Siglos XIX-XX” (Esteve-Rico, 2013), en este se profundiza, en base a los escasos ejemplos que se tienen de fabricantes de instrumentos musicales en nuestro país, sobre las técnicas de construcción que se realizan en esa época y mostramos de alguna manera el panorama musical que se vivía en aquellos tiempos.

Como se puede deducir de su lectura, la industria musical no ha tenido nunca un brillo especial, pues sus aportes tecnológicos o científicos han estado reducidos al entorno artesano sin una conexión clara con otras esferas del conocimiento. Esto podría justificarse pensando que la acústica nace como ciencia de mano de la acústica arquitectónica en los albores del siglo XX, pero también es cierto que la acústica como ciencia tiene ejemplos relevantes en épocas anteriores, de hecho la música y los sonidos producidos por los cuerpos físicos y hasta planetarios fueron el motor del desarrollo de la acústica (escuela pitagórica, Leonardo da Vinci, Marin Mersenne, Lord Rayleigh y un largo etcétera).

Con esto no quiero decir que la ciencia en general no haya aportado su conocimiento a los constructores de instrumentos en la época moderna o contemporánea pues olvidaríamos los aportes recientes del electromagnetismo al desarrollo de instrumentos imprescindibles. Ni que decir tiene tampoco el papel de la programación y la Física del estado sólido.

Lo que podemos decir es que los aportes siempre se han dado fuera de nuestras fronteras, ligados al desarrollo económico y la existencia de centros de investigación tecnológicos que de alguna forma proporcionan soporte a nuevos retos y aportaciones en cualquier sector industrial. La situación política (educativa, económica, social...) de España no ha sido un ejemplo que seguir y por supuesto no ha sido capaz de generar esa riqueza, ya que sus problemas eran otros o más bien sus problemas eran tan grandes en cuestiones básicas de supervivencia social, que a duras penas era capaz de generar nuevos conocimientos puntuales, siempre a remolque de tecnologías foráneas. También es cierto que los instrumentos de viento metal se puede decir que están desarrollados desde antaño y cualquier mejora evidente resulta improbable.

Como primer paso lógico después del Máster, me planteo la posibilidad de seguir estudiando el trombón como instrumento e indagar desde un punto de vista social buscando reflejos de su existencia en otros ámbitos. Esta propuesta parte de la premisa de que si algo tiene relevancia en cualquier aspecto dicha singularidad queda reflejada en los medios de opinión e información pública, de no ser así es que puede que no haya sucedido nada que sea merecedor de destacar ya sea como logro científico, industrial o social.

Como resultado de esta inquietud he redactado el siguiente punto que muestro en el formato de artículo, tal como se envió a la revista “Anuario Musical” de la que estamos a la espera de su aceptación. Además, un resumen del mismo contenido fue presentado con el motivo del primer congreso de musicología celebrado por la JAM en Salamanca (mayo-2018). En el artículo, se ofrece una visión peculiar de la evolución del trombón de varas en España desde el prisma de la prensa histórica. Además, este texto puede ser un material docente perfecto para que los alumnos conozcan el pasado del instrumento que tienen entre manos y como los grandes artistas, constructores y el constante influjo del exterior de España contribuyeron al asentamiento del trombón de varas en el panorama actual.

Creo firmemente que sólo desde el conocimiento de nuestra historia podemos adquirir la formación transversal necesaria para la formación integral.

1.4.1 El trombón de varas en España en la perspectiva actual de la prensa histórica. Siglos XIX -XXI

En el presente trabajo se estudia la evolución del trombón de varas en España durante los siglos XIX-XXI desde el prisma de la prensa de la época. Se tendrán en cuenta las

cuestiones más relevantes como pueden ser: las digresiones sobre la idoneidad del sistema de pistones en referencia a las varas. El papel que han desempeñado los compositores y constructores. La acción socializadora de las bandas de música como agentes culturales de gran repercusión popular. La inevitable influencia desde el exterior de nuestras fronteras. Y la oficialización de las enseñanzas de dicho instrumento como signo de reconocimiento.

1.4.1.1 *Introducción*

En la actualidad usamos la palabra trombón para referirnos al trombón de varas de cualquier época histórica, pero esto no ha sido siempre así. Cuando nos referimos al nacimiento u origen del trombón se suele utilizar el término sacabuche, que hace referencia al nombre con el que se conocía al trombón durante los siglos XV-XVIII. Según Chenoll (1990), el término trombón, del italiano *trombone*, data del siglo XVIII. Este vocablo se usa a partir del romanticismo para referenciar el trombón de varas en la cultura occidental especialmente.

1.4.1.2 *Estado del arte*

Es común leer, en la literatura específica sobre la evolución histórica del trombón de varas (Andrés, 2001; Casares-Rodicio, 2002; Ferrando-Sastre y Yera-Martínez, 2005), que el sacabuche nace en el siglo XV puesto que no se conoce un constructor, en particular, al que atribuirle la autoría ya que existen un gran número de estos que de forma simultánea fabrican sacabuches de similares características ya sea por los Países Bajos, Inglaterra o Alemania donde se podría destacar en especial la ciudad de Nüremberg donde la familia Neuschel aparece ligada de forma explícita a su producción artesanal con calidad reconocida.

Por supuesto en España también se utilizó este instrumento en las agrupaciones instrumentales que usualmente participaban en los actos religiosos o bien servían de aderezo y parafernalia en la solemnidad de las ceremonias reales, tal y como comenta Hernandis (2012).

Como ejemplo fehaciente tenemos conocimiento de la labor de los ministriles¹ y su presencia en las principales catedrales y capillas de muchas ciudades españolas como Córdoba, Zaragoza, Valencia y Barcelona durante los siglos XVI–XVII.

Justo en esta última centuria, España entró en una profunda recesión como resultado del desgaste de la monarquía de los Austrias menores (dinastía Habsburgo) por la expulsión de los moriscos entre otras vicisitudes. Aparte y además podemos añadir la crisis general que en ese momento asolaba Europa; caracterizada por la penuria económica, hambrunas, epidemias y guerras, tal y como comenta Suárez-González, Ramos-Pérez, Comellas y Andrés Gallego (1991).

Esta serie de circunstancias provocaron un estado de constante involución en nuestro país, con lo que España pasó de ser una potencia hegemónica dentro del continente Europeo a ser un país pobre, legando a la posteridad un contexto social que reducía a cenizas cualquier atisbo de cultura. Por lo que el sacabuche además de tener que sobrevivir en un ambiente en plena decadencia tuvo la desventura de coexistir con el cambio de gusto sonoro originado durante el reinado de Luís XIV, según Astruells Moreno (2003), el cual a finales del siglo propuso una revolución novedosa en la corte de Versalles que consistía en utilizar la “Banda de Oboes del Rey”, compuesta por 10 oboes y dos fagotes, como elemento principal en sus boatos majestuosos y ceremonias reales, Esta formación, en cierta forma revolucionaria si se puede decir eso en un régimen monárquico y absolutista, se convirtió en tendencia y vino a sustituir las tradicionales formaciones en las que participaban el conjunto de sacabuches.

La nueva moda que acabamos de describir en el párrafo anterior fue imitada en el resto del continente europeo excepto en Alemania, Austria e Italia, donde tuvo menor alcance, esto se puede aducir a las serias divergencias en las políticas de estado pero en gran manera se debe también, desde el punto de vista cultural, a que en estos países existía una gran atracción por la armonía del sacabuche y una tradición secular arraigada por las grandes composiciones que formaban parte de su acervo musical; se pueden tomar como muestra las obras de los italianos Claudio Monteverdi² y su ópera “Orfeo” (1607) y Doménico Gabrielli (1659-1690), o en la música de cámara del alemán Daniel Speer (1636-1707).

¹ Definición de la voz ministril en: *Diccionario Enciclopédico abreviado*. (1995). Madrid: Espasa-Calpe, p. 905. Definición de la voz ministril: “El que en funciones de la iglesia y otras solemnidades tocaba algún instrumento de viento. El que por oficio tañía instrumentos de cuerda o viento”.

² Claudio Monteverdi (1567-1643) compuso la que parece ser la primera obra en la que se incluye el trombón en la orquesta (Ferrando-Sastre et al., 2005).

En este estado de cosas, es normal que las primeras obras de trombón solista las encontremos en el siglo XVIII, en lo que podríamos llamar el corazón de la Europa central del momento, con los conciertos para trombón de Georg C. Wagenseil (Austria), 1762, Michel Haydn (Austria), 1763, Leopold Mozart (Austria) sobre 1760 y Johan G. Albrechtsberger (Austria), 1769. En esta época el compositor alemán Christoph W. Gluck (1714-1787) con su ópera *Alceste* (1776) le otorgaría al trombón mayor protagonismo. Wolfgang A. Mozart (1756 - 1791) utiliza el trombón como elemento dramático y le otorga gran importancia como solista en la parte *Tuba Mirum* de su *Réquiem*.

El siglo XVIII lo podemos tratar como un espacio temporal que sirvió de puente sobre las aguas turbulentas del anterior, que desemboca en un nuevo periodo como lo constata el uso sinfónico del trombón en la orquesta, descrito por Casares-Rodicio (2003), como observamos en las sinfonías cinco (1804), seis (1808) y nueve (1824) de Ludwig van Beethoven (1770-1827). Con ello, el trombón que recupera el estatus perdido por su ancestro, el sacabuche. Esta nueva hegemonía le sirvió para arraigar con fuerza en la estructura de las bandas municipales y militares (recordemos que nos estamos refiriendo al resto de Europa).

Si hablamos de nuestro país; se puede decir que logramos transitar de puntillas dicho momento y no fue hasta mediar el siglo XIX cuando se comienza, aunque con retraso, el despertar de la sociedad española que vivía al socaire de los fracasos de sus anteriores gobernantes. Y tuvimos que esperar al periodo liberal para sacudirnos una estulticia que se había convertido en costumbre. En palabras del teórico Moreno (2003)³:

“La formación de las primeras bandas municipales en España fue debida, aparte de las tradiciones militares, a un fenómeno contemporáneo; típico de una sociedad liberal relacionada con una tradición rural. A diferencia de las antiguas obligaciones que tenían los grupos de ministriles al servicio de los ayuntamientos, ahora a la banda se la considera, dentro de sus actuaciones, como un elemento de arte; producto típico del romanticismo de la época”.

Además, parece que desde las esferas administrativas se toma conciencia de la desidia que la política educativa arrastra desde épocas ancestrales y se promulga un decreto,

³ Moreno, S. (2003). *La banda municipal de valencia y su aportación a la historia de la música valenciana*. Valencia, Departamento de filosofía: Universitat de Valencia. A partir de las dos últimas décadas del siglo XIX se forman la mayoría de las Bandas Municipales en las principales capitales de provincia 1879 en adelante.

conocido como Ley Moyano⁴ que establece una ordenación general casi primigenia de todas las enseñanzas del sistema educativo. Y al amparo de este marco normativo se regularizaron las enseñanzas artísticas y se introdujo el trombón de varas en los conservatorios. Es de suponer que esto se trasladara, de forma natural, a todos los niveles y estamentos que ofrecían estudios musicales no reglados, como lo eran muchas bandas municipales, que servían desde siempre como academias de formación y que en la mayoría de las poblaciones eran el único modo de acceder a los conocimientos musicales.

Según Yera (2005), justo en el momento en el que parece que el trombón de varas se impone por derecho propio en toda Europa, pasan a primer plano los sistemas de válvulas y pistones desarrollados a principios del siglo XIX. Su implantación en la mayoría de los instrumentos aerófonos de la orquesta generó un conflicto sobre la idoneidad del trombón de varas o de su homólogo de pistones en la interpretación musical. Lo que tuvo especial incidencia en aquellos países, como era el caso de España, donde el susodicho instrumento se había incorporado recientemente y no se disponía ni de conocimientos técnicos ni musicales sobre ninguna de las dos tipologías disponibles del trombón. No ocurrió lo mismo en otros países como Alemania donde su arraigo y tradición burló dicho conflicto y pronto se volvió al sistema de varas correderas tal cual lo refrendan grandes artistas como Friedrich August Belcke (1795-1874)⁵ o Karl Traugott Queisser (1800-1846)⁶ entre otros. Según Álvarez-Parra (2003), estos genios del trombón tuvieron gran repercusión internacional y evidenciaron la superioridad del trombón de varas en afinación precisión y calidad sonora respecto al trombón de pistones.

Como se puede deducir de lo dicho hasta ahora, al trombón en España dada la ausencia de referentes no se le puede considerar un instrumento tradicional⁷ en el momento que este se incorpora a las bandas militares y municipales⁸. Es por esto que el desarrollo del sistema de válvulas creó entre nuestros músicos gran confusión y dudas sobre la elección del trombón de varas sobre el de pistones en la ejecución instrumental.

⁴ Ley de instrucción pública de 09 de septiembre de 1857, también conocida como la Ley Moyano en referencia al ministro Claudio Moyano

⁵ Trombón solista en Leipzig Gewandhaus Orchestra, gran virtuoso y concertista internacional con giras en toda Europa.

⁶ Trombón solista en Leipzig. Ferdinand David le dedicó su concierto Op. 4 en 1837 de gran repercusión internacional.

⁷ *Reglamento de la escuela nacional de música aprobado por S.M.* Edición oficial (1871), 02 de julio.

⁸ La revolución francesa y el imperio napoleónico (1789-1813) tuvieron gran importancia en la aparición de las bandas militares de marcha.

Esta situación quedó reflejada en la prensa española del momento la cual nos ofrece una perspectiva única. Y creemos que rescatar sus referencias nos ayudará a dilucidar la andadura del trombón de varas y trombón de pistones en la España desde el siglo XIX hasta la actualidad.

1.4.1.3 *Trombón de varas vs Trombón de pistones en España*

Como se ha comentado anteriormente el trombón de varas sucumbió ante la crisis española y europea del siglo XVII, y al cambio de gusto musical del siglo XVIII con la corte del rey Luís XIV. El uso del trombón en la orquesta (s. XVIII) cambió su suerte y la creación de las bandas militares, las bandas municipales y los conservatorios (S. XIX) situaron al trombón de varas en una nueva línea de salida. El punto de partida lo podemos situar en el año 1831 en el Conservatorio de Madrid: las clases se inauguraron oficialmente el dos de abril de ese año, con su primer profesor de trombón de varas Francisco Fuentes. Años más tarde en 1838 se creó el conservatorio del Liceo de Barcelona y en 1866 la escuela municipal de música en dicha ciudad.

Aparentemente la enseñanza parecía vivir un periodo de bonanza, pero tal y como describe de Soriano-Fuertes (1873) la realidad era muy distinta; la educación (no solo musical) pasaba por un desagradable momento. España vivía el espejismo de la reforma liberal llena de buenas intenciones, pero sin recursos económicos ni capacidad organizativa. Según este autor, ni las diputaciones provinciales ni los ayuntamientos eran capaces de sostener ni los centros de enseñanza, ni las sociedades corales y teatros en las provincias de nuestra nación. Hasta las bandas de música militares eran cada día menos numerosas y con baja remuneración. El desequilibrio económico reinante obligó al gobierno a reconvertir el Conservatorio de Madrid en Escuela Nacional de Música⁹, reduciendo el número de sus profesores de treinta a catorce y suprimiendo entre otras la docencia del trombón de varas. Sin duda, este conjunto vicisitudes truncó el incipiente arraigo de este instrumento en el contexto músico-social y por ende la posible evolución técnica de este en España. Fortuna para unos, desgracia para otros o como se suele decir: nunca llueve a gusto de todos. Así que el trombón de pistones ganó la partida puesto que su nivel técnico era de menor exigencia.

⁹ Rey García, Emilio. Recuperado de: <http://www.rcsmm.eu/el-centro/historia/?m=1&s=1>. Por Decreto de 15 de diciembre de 1868 y Reglamento del 22 del mismo mes y año, se crea la Escuela Nacional de Música y Declamación, denominación que se mantiene hasta el año 1900.

Figura 1: Verdi, G. (2001). *La fuerza del destino*. Extracto orquestal 1861. Leipzig: Peters.

El sistema de válvulas y pistones¹⁰ se puede decir que tuvo su auge a mediados del siglo XIX, en España, como muestra el método de pistones de Funoll-Alpuente (1862), Francia, y especialmente en Italia donde los compositores enfocaron sus obras pensando que la vara limitaba enormemente las posibilidades técnicas en la interpretación, tal y como argumenta Ferrando-Sastre y Yera-Martínez (2005)¹¹. Se compuso repertorio orquestal para el trombón de pistones por autores como: Mascagni, Leoncavallo, Puccini y Verdi que otorga el papel de protagonista al trombón de pistones en sus obras *Don Carlo*, *El Niño Judío* o *La Fuerza del Destino*, tomemos como ejemplo este extracto orquestal de *La fuerza del destino* (Figura 1).

Según Astruells (2003), el auge de la burguesía colaboró a la proliferación bandas y certámenes municipales. En 1903 se crea el Certamen de Valencia. En los albores del siglo XX el trombón de pistones ya había logrado enraizar en las bandas militares, municipales e incluso en los conservatorios. Todas estas formaciones hacían uso de él con normalidad, no obstante, a pesar de su éxito algo había cambiado si atendemos a la prensa del momento, y se empezaban a atisbar nuevos aires de cambio.

¹⁰ Crónica de la música, V (30 de agosto de 1802), nº 206.

Empezaron a fabricarse en serie, destacando la casa parisina BESSON (1882) que exportó sus trombones al resto de Europa.

¹¹ Ferrando-Sastre, E., Yera-Martínez, F.J. (2005) *El trombón. Todo lo relacionado con su historia y su técnica...* p. 52. Actualmente, la técnica de los intérpretes de trombón de varas es de tanta calidad, que ha demostrado que las citadas carencias técnicas del trombón de varas comparándolo con las virtudes del trombón de pistones no son ciertas, y además, lo suple con su mejor calidad sonora.

Por ejemplo: en 1902 el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes¹² anuncia una vacante de trombón por oposición al Conservatorio de Música y Declamación de Madrid. Donde al informar sobre la composición del examen subraya el hecho que una de las pruebas de la oposición se debía realizar con el trombón de pistones y otra con el trombón de varas. La obra por interpretar con el trombón de varas sería, en comparación con la del trombón de pistones, de menor nivel. Pero se remarca que a su vez el ejecutante debía demostrar el conocimiento técnico suficiente del trombón de varas para poderlo enseñar posteriormente.

Al año siguiente, 1903, en *La Correspondencia Militar*, diario publicado en Madrid de marcado corte belicista, se comenta que en el regimiento de Infantería nº5 de Zaragoza¹³ se tenía la urgencia de adquirir entre otros instrumentos un trombón en do y otro en sib de cuatro cilindros.

Tiempo más tarde, 1909, *El imparcial* se hace eco de que en la Banda municipal de Madrid¹⁴ era usual la práctica con el trombón de pistones, pero que los profesores de trombón se comprometieron a comenzar el estudio y enseñanza del trombón de varas puesto que este tenía un sonido más dulce y brillante que el trombón de cilindros o pistones. En dicho documento se subraya, quizá a modo de disculpa, que el trombón de varas nunca se había tocado con anterioridad en España. Afirmación a todas luces vana que demuestra una vez más el poco calado cultural y la banalidad de los conocimientos musicales de nuestros compatriotas en ese tiempo no tan lejano, pues, aunque es cierto que el trombón de varas no pasaba por su mejor momento, sin duda era un instrumento conocido desde la época de los sacabuches y los ministriles.

Otro ejemplo lo encontramos en la publicación cultural *La Alhambra*¹⁵ (1909) donde se narra el hecho de que un trombón de varas junto con un cornetín de pistones ameniza las calles y hacen bailar a los transeúntes. Este mismo periódico cuenta en otro suelto¹⁶: que el trombón de varas y otros instrumentos marchan precedidos del pendón corporativo.

Según lo expuesto hasta ahora a la luz de la prensa escrita de principios de siglo XX, el trombón de varas en nuestro país parecía incorporarse lentamente a la vida instrumental en agrupaciones y eventos. Se puede pensar que las informaciones pecan de futilidad, pero

¹² *Diario oficial de avisos de Madrid*, CXLV (01 de noviembre de 1902), nº 304, p.2.

¹³ *La correspondencia militar*, XXVII (10 de agosto de 1903), nº 7791, p.3.

¹⁴ *El Imparcial*, XLIII (31 de marzo de 1909), nº 15103, p. 3

¹⁵ *La Alhambra*, Revista quincenal de Artes y Letras, XII, (15 de marzo de 1909), nº264, p.113

¹⁶ *La Alhambra*, Revista quincenal de Artes y Letras, XII, (31 de julio de 1909), nº228, p.367

hasta dentro de ese carácter nos sirven como indicadores de qué algo está ocurriendo en el panorama musical cuando aparece el trombón con nombre propio aunque sea a veces de forma puramente anecdótica. Pero es importante que a principios del siglo XX el trombón de varas se demande en bandas militares y municipales tal y como hemos visto, pues de alguna forma se tiene constancia del germen que más tarde dará lugar a que las instituciones de enseñanza recojan el testigo.

Por ejemplo, en el conservatorio de Valencia en el año 1910 se oficializa su enseñanza, estableciendo la asignatura de trombón con Luís Tárrega como profesor. Y además, existe una apuesta firme desde las instituciones para formar profesionales de alta cualificación, como es el caso de la Universidad literaria de Valladolid donde el Rectorado se posiciona de forma clara y acuerda que D. Bernardo García-Maseda, profesor Conservatorio de Música y Declamación, reciba una beca para perfeccionarse en el trombón de varas en París¹⁷.

La razón principal para entender que en España triunfara el trombón de pistones en los siglos XIX y XX a pesar del retorno del trombón de varas en las bandas militares, municipales y la regulación de las enseñanzas, pensamos que es porque la interpretación musical con el trombón de varas requiere de grandes cualidades técnicas en los intérpretes y años de práctica para obtener una *performance* correcta en cuanto a articulación, afinación y sonido.

En cambio, con el trombón de pistones no sucede lo mismo puesto que la dificultad técnica en la articulación se minimiza y el esfuerzo por evitar los glissandos del trombón de varas se corrige automáticamente gracias al sistema de pistones. Obviamente se necesita menos tiempo de práctica para una correcta ejecución técnica, se podría afirmar que el trombón de pistones es más fácil de dominar. Por lo tanto, la baja exigencia técnica del trombón de pistones frente al de varas facilitó el trabajo a los intérpretes: los cuales encontraron en él más beneficios que problemas a corto plazo.

Aparentemente todo era positivo, gustaba mucho la perfecta articulación ligada, la ausencia de glissandos y velocidad en la ejecución musical, además de sus trinos reales, rápidos y precisos, o la facilidad y naturalidad con la que ejecutar los pasajes cromáticos. Sin duda, estas cualidades resultaron ser muy favorables para los trombonistas, los cuales obviaron la gran calidad sonora y perfecta afinación del sistema de varas correderas. Si a esto añadimos que en nuestro país no se gozaba de gran tradición musical en la práctica del

¹⁷ *Gaceta de instrucción pública y bellas artes*, XXIV, (26 de junio de 1912), nº1.151, p.393.

trombón tal como ocurría en Alemania o Austria, ni que tampoco existían grandes artistas, en nuestro entorno, que deslumbraran al público con la interpretación de conciertos plagados de dificultad en sus conciertos.

Según Chenoll (1990), podemos conjeturar que este cúmulo de circunstancias favoreció de alguna forma la presencia del trombón de pistones en España durante más años que en cualquier otro país. Se puede decir que más por desidia que por su valor intrínseco el trombón de varas queda desplazado del horizonte musical español hasta finales del siglo XX.

Otra circunstancia que hay que destacar en el panorama evolutivo que se propició en el siglo XIX, es la relativa al papel que juega la industria en ese momento, siendo muy significativo que pese a todo ayudó a propiciar un incipiente desarrollo tecnológico asociado a la cultura. Por lo que es importante hacernos eco de la que al parecer es la primera fábrica de construcción artesanal de trombones de toda la historia de España, según Casares-Rodicio (2002)¹⁸.

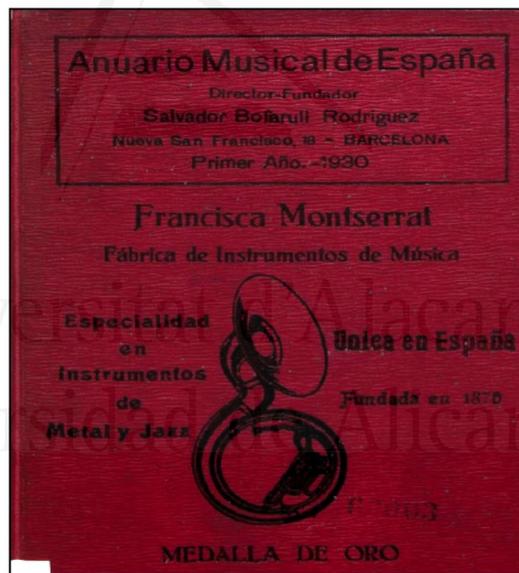


Figura 2: Publicidad de la tienda Montserrat. Anuario musical de España, I (1930), nº 1.

La fábrica Montserrat de Barcelona (1870-1960) fue muy importante en la evolución del trombón de varas, puesto que Francesc Montserrat constructor artesanal y gerente de la empresa, supo observar y valorar con antelación el cambio que se estaba viviendo en el

¹⁸ Casares-Rodicio, E. (2002) *Diccionario de la Música. Española e Hispanoamericana*. Madrid, Sociedad General de Autores y Editores, p. 380. A pesar del uso generalizado del trombón de varas en España a lo largo de su historia, no se sabe con seguridad si se construyeron antiguamente sacabuches españoles, tal y como comenta Bartolomé de Selma, famoso constructor de instrumentos de madera y músico de sacabuche

panorama musical y transmitió esta inquietud a su hija Francisca¹⁹ (Véase Figura 2), que llevó sus instrumentos a la Exposición Internacional de Barcelona de 1929, cosechando la Medalla de oro y Primer premio por su trombón de varas (Este trombón se conserva en el Museo de la Música de Barcelona).

Francisca Montserrat tuvo un papel significativo en el posterior desarrollo del trombón de varas y en la mejora de sus características constructivas. En la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) consta que solicitó una patente el dos de marzo de 1934 titulada: “Perfeccionamientos en la construcción del instrumento de música llamado trombón de varas”²⁰. La fábrica y tienda Montserrat debió cerrar a finales de 1960.

Como vemos el siglo XX es en cierta manera un punto sin retorno en el recorrido del trombón de varas, si bien eso es cierto totalmente en países como Alemania²¹ que sigue fiel a sus tradiciones seculares.

También es significativo, y podemos decir que definitivo sin ambages, el papel de la sociedad norteamericana; pues si hemos destacado repetidamente la importancia de grandes intérpretes para inducir cambios en el gusto musical. La idoneidad de la vara o el sistema de válvulas por cuestiones sonoras y afinación quedó discernida de forma definitiva e indiscutible en favor del sistema de varas, gracias a un nombre que elevó la técnica del trombón de varas a límites desconocidos, Arthur Pryor²² (1870-1942), según Everett (2005), genio estadounidense que eliminó por completo la duda sobre la mayor calidad técnica del sistema de válvulas en el fraseo que era el único punto a su favor, al conseguir con la vara corredera un virtuosismo hasta ahora reservado sólo para los violines²³.

El panorama había cambiado de tal modo que incluso los intereses comerciales de mercado por este instrumento quedan reflejados en campañas publicitarias en la prensa de consumo general no especializada. En el año 1929 la marca americana Conn se anunciaba

¹⁹ *La Vanguardia Española*, LXXIII (17 de octubre de 1957), nº 28.418, p. 12. Francisca Montserrat Virgili estaba casada con casada con Álvaro Francisco Puig Pena. En el Archivo Municipal Contemporáneo de Barcelona no se han hallado datos precisos sobre el parentesco de la familia Montserrat.

²⁰ Patente nº 133809 de la oficina española de patentes y marcas, “Perfeccionamientos en la construcción del instrumento de música llamado trombón de varas”.

²¹ *La lectura, revista de ciencias y artes*. (1901), T.I, p.48. La revista de ciencias y artes subraya el hecho de que en los conciertos de la Sociedad Filarmónica de Berlín se ha cambiado el trombón de pistones por el de varas por su sonoridad más dulce.

²² Arthur, Pryor. (1904). *Blue Bells of Scotland*. New York: Carl Fischer.

²³ Influjo exterior. Everett, M. P. (2005) *The return to the slide from the valve trombone by late nineteenth and early twentieth- century trombonists including Arthur Pryor (1870-1942)*. Dissertation. Greensboro: University of North Carolina.

en los periódicos de Madrid²⁴, y además hacía uso comercial de profesionales del trombón como Jaroslav Cimera: el cual declaraba con la finalidad de alabar la calidad del producto que sus interpretaciones con esta marca de trombones eran «de perfecta afinación y tono». Resaltamos este hecho con la intención de destacar que el trombón de varas se convierte en ese momento en un artículo bien definido en los medios de comunicación de masas, y se le trata tal y como estamos acostumbrados a escuchar en los spots de cualquier producto de consumo en la actualidad.

Por otra parte, Chenoll (1990), remarca la anécdota de que los empresarios de eventos artísticos musicales del momento querían contratar grupos musicales que tuvieran en su formación esos instrumentos tan llamativos que se estiraban y encogían (el trombón de varas). Y cuya sonoridad más dulce favoreció su uso en las orquestas de música ligera y espectáculos como la opereta en los años treinta. Debemos tomar esto como paradigma de que el trombón de varas había encontrado su espacio irrenunciable, traspasando la frontera de la música de elite y la de las formaciones de desfiles para tener un papel protagonista en un incipiente mercado de consumo y ocio tan característico de la cultura contemporánea del mundo occidental.

Es evidente que tanto compositores, interpretes y constructores se volcaron por este instrumento de forma indiscutible: unos dotándolo de mejoras técnicas, otros creando un amplio bagaje compositivo especialmente como instrumento solista entre finales del siglo XIX y durante el XX²⁵, reflejándose este esfuerzo en el mundo empresarial y en el público de forma general.

Por último, no podemos olvidar una referencia obligada a la genuina revolución musical de este siglo: el jazz²⁶, estilo con el que el trombón alcanzará la madurez instrumental y favorecerá el desarrollo de un virtuosismo novedoso en ritmo y factura compositiva. Desde sus inicios el trombón de varas forma parte de este estilo como instrumento rítmico sacando provecho máximo de sus característicos y efectistas glissandos.

²⁴ *La voz*, X (17 de octubre de 1929), nº 2747, p.5. El distribuidor oficial de la marca de trombones de varas *Conn* en España era Fernández y Benítez, calle Preciados, 54. Madrid.

²⁵ Algunos de estos conciertos son: A. Guillmant (1890), S. Stojowsky (1905), G. Ropartz (1908), L. Gröndahl (1924), F. Martin, (1940), P. Hindemith (1941), E. Bozza (1944), P. Creston (1947), H. Tomasi (1956), L. Berio (1966), N. Rota (1970), I. Xenakis, (1986), A. Arutiunian, (1990), J. Sandstrom (1992). La mayoría de repertorio actual sale del concurso nacional de trombones organizado por la asociación de trombonistas españoles (ATE).

²⁶ Estilo musical basado en la forma de interpretar la música de la raza negra, fruto de la evolución y mestizaje de diferentes culturas como la africana, la americana y la europea. Los historiadores coinciden y afirman que los orígenes del jazz (Gioia, 2002) se encuentran la ciudad de Nueva Orleans, Louisiana, concretamente el distrito de Stoyville sobre 1897.

En la era de las grandes bandas y el swing, 1930, el trombón de varas desarrolla su mejor faceta técnica, se desencorseta de los tópicos y alcanza la mayoría de edad emancipándose de las tradiciones musicales donde el violín tenía el monopolio como instrumento solista²⁷. Gracias a este progreso, en los siguientes años con el *be-bop*, 1940, se consolida un nuevo lenguaje para el trombón de varas: con un sonido seco y fluido, carente de vibrato y muy flexible que se puede resumir en la gran cantidad de notas que conforman la frase musical más corta.

Dentro del jazz se pueden destacar como responsables en la evolución de la técnica del trombón de varas a músicos de la talla de T. Doorsey (1905-1956) y J. Teagarden (1905-1964) en los años treinta y muy especialmente Bill Harris (1916-1973) y J. Johnson²⁸ (1924-2001) los cuales han tenido gran influencia entre los trombonistas posteriores, como por ejemplo F. Rosolino y C. Fontana (seguidores del Be-bop), Al Grey, E. Bert o Bill Watrous (1939-).

Actualmente los conservatorios ofertan estudios normalizados de jazz como especialidad, lo que está creando grandes artistas como pueden ser Francisco Soler y especialmente Toni Belenguer.

Todos los acontecimientos que acabamos de relatar tienen en el fondo el trasunto sociocultural que envuelve toda evolución y que se relaciona directamente con la influencia que ejercen los países que nos rodean, aquello que llamamos “influjo exterior” y que ahora se ha convertido en una verdadera industria (industria cultural) puesto que sería difícil de entender el nacimiento o desarrollo de cualquier idea o elemento sin que existiera esa relación que nos define como animal social, más si cabe teniendo en cuenta la naturaleza de lenguaje global que subyace en la música por derecho propio.

Pero a pesar del influjo exterior y la clara evolución del sistema de varas correderas observada en la prensa y textos consultados, el cambio de sistema en España no fue inmediato. Es más, tardó muchos años en producirse tal y como relata Chenoll (1990) durante 1971-72 en el Conservatorio de Madrid, la mayoría de los alumnos se matriculaban con el trombón de pistones. Años más tarde, 1989, todos se matriculaban con las varas. Al igual que ocurría en otras provincias.

²⁷ Luz. Diario de la república (16 de enero de 1932), I, nº9, p.7

²⁸ Nació en los cimientos del swing, J. J. Johnson, es el trombonista más importante que ha dado la historia del jazz, el cual con el bebop igualaría la técnica del trombón con la de la trompeta, con rápidas y ágiles frases.

Observamos que en España el trombón de pistones se usó hasta casi las postrimerías del siglo pasado, de ahí la diferencia que existe entre países como Alemania que volvió al sistema de varas inmediatamente (en el siglo XIX).

Pero podemos aseverar que en el siglo XXI el trombón de varas está perfectamente instaurado en la totalidad de la sociedad musical española, tanto en las bandas municipales, militares, como en los conservatorios y en otro tipo de agrupaciones como los grupos pop, folk y por supuesto en los de jazz en cualquiera de sus variantes.

Esta nueva perspectiva coincide con, o mejor deberíamos decir respalda, la fundación de la segunda fábrica de construcción de trombones de España, la empresa Honiba S.A.²⁹ que comercializa la marca Stomvi, a manos de Vicente Honorato. En el año 2000 la empresa inició el proyecto de construcción de trombones de varas, que dio sus frutos el año 2008 cuando irrumpieron en el mercado de forma patente con un nuevo prototipo de trombón Stomvi-Titán que desde entonces podríamos decir permanece en constante evolución, incorporando desarrollos tecnológicos que respetando la filosofía original de su creador lo mantienen en la vanguardia del mercado nacional e internacional.

En cuanto al trombón de pistones, podemos atestiguar que actualmente ha sido apartado de las formaciones bandísticas y orquestales en España e incluso se interpreta con el trombón de varas aquellas composiciones pensadas para el sistema de pistones (esta cuestión se debería de discutir en profundidad en otro sitio, ya que desde un punto de vista analítico dichas composiciones se escribieron pensando en las cualidades que poseen los sistemas de válvulas o pistones, y sabemos de sobra que existen diferencias patentes entre una y otra técnica).

Entre las agrupaciones que en la actualidad tiene cabida el trombón de pistones destacaremos las denominadas “brass bands” y en menor medida el ámbito del jazz³⁰. Siguiendo este hilo podemos apuntar que Caravan, la famosa composición que asociamos con Duke Ellington, la compuso el músico puertorriqueño Juan Tizol y la interpretaba originalmente él mismo con un trombón de pistones. Lo que en un principio se consideró como una adición iconoclasta para la típica formación de atriles jazzística de la época, pero

²⁹ Honiba S. A. Fundada en 1984 e inscrita en el registro mercantil de Valencia, tomo 1374, general 860, sección 3º, folio 1, hoja 8664, libro de Sociedades Anónimas, inscripción 1º. N.I.F: A-46-224416. Esta empresa está situada en el polígono Industrial Zamarra, avenida Camí Nou, número 225. Código Postal 46950, Valencia, España. Y su enlace web es: <http://www.stomvi.com/home.php>.

³⁰ Destacan los nombres de Juan Tizol³⁰(1900-1984), que destacó con su ágil interpretación en aquellos pasajes de alta dificultad técnica para los trombones de varas, Bob Brookmeyer (1929 – 2011) o Raúl de Souza (1934 -) entre otros.

que fue responsable en parte del sonido que habría de hacer inmortal a la orquesta de Duke Ellington.

1.4.1.4 Conclusiones

Se ha podido corroborar la evolución del trombón de varas y pistones descrita en los trabajos de Chenoll (1990), Ferrando-Sastre y Yera-Martínez (2005), entre otros, desde el prisma que ofrece la sociedad española de la época. Ha sido posible constatar gracias a su aparición en la prensa y literatura: cuándo se usaba el trombón de varas, pistones. Sus flaquezas y puntos álgidos. El florecimiento de las bandas militares o civiles y sus necesidades. Los procesos de selección u oposiciones. El auge debido a grandes intérpretes internacionales. La aparición de las primeras fábricas artesanas de la historia del trombón de varas.

En definitiva, cuáles han sido los factores más relevantes que determinaron la evolución del trombón de varas, pero desde el cálido matiz que desprende la vivencia personal e inequívoca de las personas que fueron coetáneas al devenir del trombón de varas en España.

1.5 Antecedentes

Voy a concretar los antecedentes o estado del arte de la tesis, pero desde un punto de vista general. Seguidamente se hará un repaso sucinto de aquellos artículos o referencias que nos sirvieron de base para el desarrollo de las investigaciones y elección de contenidos que conforman la presente tesis.

Además, y como ya se ha citado en el apartado 1.3, cada capítulo perfila y desarrolla con profundidad el estado del arte de cada cuestión.

En un primer instante bebimos de la organología del trombón de varas para concretar su evolución y historia, punto de unión entre el máster de investigación musical y la presente tesis, tal y como se puede ver en el apartado 1.3. Se puede destacar la información extraída de los tres autores siguientes: Andrés (2001), Agulló (1989) y de Olazábal (1993).

A continuación, abordamos el cómo se debía de afrontar la determinación de la calidad de un instrumento musical como el trombón. Se tenía noticia de una tesis sobre la ‘Tenora’ Martínez-Miralles, (1987), uno de los pocos documentos en castellano de temática similar a la idea que tenía sobre lo que la Acústica me gustaría que me aportara a mi trabajo

como músico. También disponíamos de otras dos tesis que enfocaban el tema desde otros puntos de vista como la de Pastor-García (2005) sobre el clarinete muy polarizada en cuestiones de afinación y calidad sonora; o la de Ribes-Blanco (2012) que realiza un estudio relacionado con el trombón como tubo sonoro, pero perfilándose en la implementación de efectos de audio con un dispositivo reprogramable.

Al indagar sobre la acústica de instrumentos musicales no podemos dejar de lado un texto fundamental y muy accesible titulado: *The Physics of Musical Instruments*, de los autores Fletcher y Rossing (1998). En él se puede ver que el camino más directo y objetivo es realizar el estudio determinando la respuesta en impedancia de dicho instrumento.

Por lo que el siguiente paso fue realizar una búsqueda bibliográfica para expurgar aquellos documentos que con carácter experimental tratasen sobre esta cuestión mediante técnicas actuales e implementaciones realizables en el laboratorio de Acústica de la Universidad de Alicante.

De estos trabajos de los que se pueden extraer conocimientos muy provechosos acordes con nuestra intención y objetivos tenemos por ejemplo el trabajo de Vereecke (2011), científico asociado en el Instituto de Acústica Musical de la Universidad de Música y Artes Escénicas, de Viena, ciudad referente en el estudio acústico del trombón de varas en base a la gran cantidad de trabajos y estudios que publican, como se comprobará en la bibliografía.

Por otro lado, también encontramos a James Beauchamp (2012) con el estudio sobre las funciones de transferencia del trombón, que establece otro modelo de control de calidad de la serie armónica del trombón con tubería cerrada. Un gran referente en el estado de la cuestión sobre la impedancia es Gregord Widholm y el sistema de análisis para instrumentos de viento metal BIAS (*Brass Instrument Analysis Sistem*) (Winkler y Widholm, 1996).

Con lo que llegamos a la necesidad de trabajar con un tubo de Impedancia. Por ello recurrimos a la norma ISO10534-2:1998 (ISO10534-2:1998, 2002). Así como la tesis de O'Maley (2001) sobre la construcción y prueba de un tubo de impedancia moderno. Finalmente, y junto con la colaboración de la firma de instrumentos de viento-metal Stomvi, se construyó un tubo de impedancia. Véase Figura 13.

Otros resultados de la pesquisa bibliográfica nos plantearon temas sobre el tracto vocal el papel de la laringe y la importancia de la correcta producción de la vibración inicial en la embocadura como elementos que intervienen en la calidad del sonido. Según Wolfe, Garnier y Smith (2009), el control sobre la laringe es importante para los intérpretes, ya que

en ella se dan fuertes resonancias durante la interpretación instrumental que ayudan a modificar la propia resonancia del instrumento. Tal y como apuntan Lulich, Alwan, Arsikere, Morton y Sommers (2011), es más fácil la propagación del aire en el registro grave. Los autores Hanna, Smith y Wolfe (2012) apuntan que, en estas frecuencias, el estado muscular no rígido del tracto vocal facilita fuertes resonancias acústicas. Pero como apuntan Chen, Smith y Wolfe (2011), es muy importante, para los intérpretes, comprender que la impedancia que se da en el tracto vocal no se corresponde o no sintoniza con la afinación de la frecuencia emitida, hasta 1500 Hz en trompetas, para trombones y trompas justo la octava inferior.

En las frecuencias graves, esta disparidad aumenta pues la impedancia cerca de los labios es más baja que las frecuencias de reproducción de los labios, según dicen Boutin, Fletcher, Smith y Wolfe (2015).

Según Boutin et al. (2015) la glotis actúa como nexo imprescindible entre la cavidad bucal y la caja torácica. Por otra parte, Farkas (1989) enfatiza la importancia de la posición de la lengua y de la musculatura peribucal en la correcta vibración labial.

En el estudio de la acción de los labios y el resto de las citadas condiciones que influyen para obtener un sonido de calidad, se ha asumido la idea del otorrinolaringólogo Mukai (1989).

Aparte de estas cuestiones mi inquietud inicial también estaba guiada por cómo podría en el futuro, o mejor dicho mientras iba descubriendo la razón de ser de la acústica del trombón, transvasar esos conocimientos al mundo docente de un aula de conservatorio en niveles medio y elemental, aunque también se pueden implementar para el nivel superior. Es por lo que esta tesis en su segunda parte desarrolla y consigue elaborar un sistema que evalúa la calidad del sonido de los alumnos y al mismo tiempo les facilita el desarrollo y aprehensión de los contenidos relacionados con el fenómeno sonoro.

La principal bibliografía utilizada para este propósito se refiere a: el *Software Spear* Klingbell, M. (2005) y el *Software AUDACITY*, desarrollado por Mazzioni (2016), que hemos usado para construir el sistema de evaluación del sonido en el aula de viento-metal.

Para este reto no se encontró soporte bibliográfico específico referente para la evaluación y mejora de la calidad sonora (Capítulo 3). Si bien es verdad que lo podemos basar en una aplicación de las TIC como herramienta en la que vamos a añadir algunos instrumentos *Software*, que hemos utilizado en la fase de análisis de los resultados

experimentales en nuestro trabajo de laboratorio, y además de un *Hardware* imprescindible de audio uso común en cualquier tarea de grabación de importancia tecnológica media.

1.6 Objetivos

El objetivo que focaliza la intención global con el que he redactado esta memoria de tesis doctoral es:

- Desarrollar un sistema para valorar la calidad de los instrumentos de viento metal (Tubo de impedancia).
- Analizar la influencia y comportamiento acústico del metal de construcción del trombón de varas.
- Analizar la influencia y comportamiento acústico las masas dinámicas o *Maxiclappers* del trombón de varas.
- Optimizar el estudio de la boquilla en beneficio de la calidad sonora del trombón de varas (*Upsound*).
- Conectar las propiedades acústicas de los instrumentos de viento-metal con el modelo clásico (aprendizaje por imitación) con el que se dicta la formación musical básica de los alumnos en el aula.
- Elaborar una nueva metodología que desarrolle la calidad sonora de los alumnos de trombón de varas integrando las nuevas tecnologías.

Para llevar a cabo este proceso, en el capítulo 2 se procede a realizar una aproximación al concepto de impedancia acústica de los aerófonos de metal y su relación con el sonido que producen. Además, a lo largo del capítulo 2 se puede observar como también desarrollamos y construimos un tubo de impedancia con el que poder determinar la calidad sonora de los instrumentos o accesorios analizados. Este tubo nos fue de gran utilidad y supone una forma novedosa y de gran utilidad para controlar la calidad de los instrumentos de viento metal.

En el tercer capítulo, para la consecución del objetivo propuesto, se crea un sistema de evaluación de la calidad del sonido con la ayuda de las TIC, para lo cual se necesita el apoyo de accesorios e instrumentación de control que detallaremos más tarde. Para ello me apoyo en el uso de *Software* y *Hardware* común que en la actualidad posibilitan de manera fácil el análisis y evaluación de dichas propiedades. La propuesta que realizo desemboca en

una nueva forma en el desarrollo de la práctica diaria de la docencia que complementa las propuestas verbales y de imitación clásica con una visualización de los fenómenos acústicos que son la pieza clave sobre la que se desarrolla la calidad sonora, interpretativa y técnica del futuro músico, ya que al descubrir la física que gobierna el tándem instrumento-instrumentista se pueden desarrollar, de forma más eficiente, las habilidades innatas de cada uno en particular.

El trabajo realizado se centra especialmente en el trombón de varas que es mi especialidad, aunque puntualmente en ciertas facetas del estudio usamos también la trompeta por cuestiones estratégicas. Lo cierto es que la mayoría de los resultados, tal y como se especifica en el cuerpo del texto, son extrapolables al resto de la familia de viento o viento metal.

Con todo ello pretendo facilitar al alumnado un conocimiento interdisciplinar (acústica, música, docencia) que conlleve la consecución del objetivo principal de las enseñanzas musicales: Dominar en su conjunto la técnica y posibilidades sonoras y expresivas del instrumento. En concreto se puede decir que esta tesis se basa en el estudio de la impedancia y el uso de las TIC en el aula de viento metal.

1.7 Publicaciones derivadas de este trabajo

A continuación, se muestran las diferentes contribuciones que se han realizado a lo largo de la elaboración de la presente investigación:

Esteve Rico, Juan Carlos (2013). Construcción de trombones en España: Las fábricas Stomvi y Montserrat (siglos XX y XXI). Máster investigación musical. Murcia: Universidad de Murcia, departamento de educación.

Esteve Rico, Juan Carlos y Vera Guarinos, Jenaro. (2015a). Estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un “trombón de varas” en función de su espectro de impedancia acústica. Congreso Tecniacústica Valencia. Valencia: SEA.

Esteve Rico, Juan Carlos y Vera Guarinos, Jenaro. (2015b). Análisis comparativo de la influencia del p-bone (trombón de plástico) frente a otros trombones de su misma tesitura fabricados en metal. Congreso Tecniacústica Valencia. Valencia: SEA. ISBN: 978-84-87985-263/ ISSN: 2340-7441.

- Esteve Rico, Juan Carlos. (2016a). Investigando las anomalías de un trombón de varas de alta gama en su respuesta en impedancia y en los resultados de un estudio perceptual. Congreso Ibérico de Acústica. Porto: Euroregio. ISBN: 978-84-87985-27-0 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve Rico, Juan Carlos, Castiñeira-Ibáñez, Sergio, Vera Guarinos. Jenaro y Rubio Michavila, Constanza. (2016b). Influencia de las campanas resonadoras (Maxiclappers) en la respuesta en impedancia y en el timbre de los instrumentos de viento metal. Congreso Ibérico de Acústica. Porto: Euroregio. ISBN: 978-84-87985-27-0 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve Rico, Juan Carlos, Castiñeira-Ibáñez, Sergio, Vera Guarinos. Jenaro y Rubio Michavila, Constanza. (2016c). Análisis sobre el método tradicional de estudio de la emisión tonal con la secuencia boquilla-trompeta frente a la nueva propuesta metodológica upsound®-trompeta. Congreso Ibérico de Acústica. Porto: Euroregio. ISBN: 978-84-87985-27-0 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve Rico, Juan Carlos, Castiñeira-Ibáñez, Sergio, Vera Guarinos. Jenaro y Rubio Michavila, Constanza. (2016d). Nuevos métodos de enseñanza para el desarrollo de la calidad del sonido en los instrumentistas de viento. Congreso de educación Edulearn. Barcelona: IATED. ISSN: 2340-1117.
- Esteve-Rico, J. C. (2017a). *Desarrollo de la calidad Sonora en los instrumentos de viento metal en función de la presión intraoral – Upsound*. Congreso internacional de psicología de la música UNED. Madrid: CONNMUSICA. ISBN: 978-84-9148-399-1
- Esteve-Rico, J. C. (2017b). *Relación del espectro armónico con el material de construcción para la trompeta Máster Sib*. Congreso Tecniacústica. A Coruña: SEA. ISBN 978-84-87985-29-4 ISSN 2340 – 7441.
- Esteve-Rico, J. C. (2017c). *Estudio de los errores más comunes en la ejecución del tono Fa3 en los instrumentos de viento metal: Análisis y caracterización acústica para su aplicación docente*. Congreso Tecniacústica. A Coruña: SEA. ISBN 978-84-87985-29-4 ISSN 2340 – 7441.

En revisión:

Esteve Rico, Juan Carlos. *Recursos didácticos para el desarrollo de la calidad del sonido en los alumnos de viento metal*. Artículo sobre el uso de las nuevas tecnologías en el aula de viento metal. Falta enviarlo a una revista que se adapte a este tema.

Esteve Rico, Juan Carlos. *El trombón de varas en España en la perspectiva actual de la prensa histórica. Siglos XIX–XXI*. Anuario Musical. En revisión.

Esteve-Rico, J. C., Vera-Guarinos, J., Gallego, S., Francés, J. *Comparative analysis of the acoustical impedance of the P-Bone versus brass trombones*, Archives of Acoustics, En revisión.

Otros:

“*La impedancia en los aerófonos de metal*”. Presentación que tuvo lugar en la Universidad Politécnica de Gandía (mayo – 2017). Para los estudiantes del máster de Telecomunicaciones a cargo del profesor Rubén Picó.

“*El trombón de varas en España en la perspectiva actual de la prensa histórica. Siglos XIX–XXI*”. I Congreso de Musicología celebrado por la JAM en la Universidad de Salamanca. (mayo 2018)

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

CAPÍTULO 2

LA IMPEDANCIA EN AULA DE VIENTO METAL: UNA PERSPECTIVA DOCENTE

2.1 Resumen

A continuación, se van a detallar los procedimientos realizados para el análisis cualitativo y cuantitativo de la impedancia de diversos aerófonos de metal desde una perspectiva docente.

2.1.1 La impedancia en los instrumentos aerófonos de viento metal. Principios teóricos

El comportamiento sonoro de los instrumentos de viento metal viene dado por la vibración inducida por los labios del intérprete en el aire confinado en un recinto finito que podemos descomponer de forma genérica, empezando de atrás adelante, en: campana, cuerpo y boquilla.

Desde el punto de vista acústico, es por todos conocido que, si sólo tuviésemos un tubo longitudinal de sección constante, al excitar la columna del aire confinada dentro del mismo, solo conseguiríamos la aparición de los armónicos impares y especialmente se acusa la presencia de los armónicos superiores. Con la adición de una terminación en forma de campana se recorta la amplitud de las frecuencias superiores y se consigue, además, que se

exciten los armónicos pares del tono producido por los labios, con lo que el sonido final consigue una mezcla tanto de armónicos pares e impares que es característica de estos instrumentos. Finalmente, con la acción de la boquilla se define la zona donde usualmente encontramos las mayores resonancias del instrumento, o, dicho de otra forma, la zona de mayor respuesta u oposición al paso de la columna del aire (impedancia). En esta zona el intérprete tiene más facilidad para tocar gracias a la respuesta y oposición del instrumento al paso de la columna de aire vibrante. Es importante resaltar el efecto de la boquilla, algunos autores llegan a definirlo como si su acción fuera la de un formante por analogía con el tracto vocal. Este hecho lo discutiremos más adelante

El conocimiento del comportamiento descrito en el apartado anterior se puede conseguir realizando el análisis de la respuesta en impedancia del sistema. A grandes rasgos conocer cuál es la respuesta en impedancia de nuestro instrumento es conocer cuánta resistencia opone el instrumento a la vibración que queremos producir (tono o nota que se intenta hacer sonar). Es de gran importancia conocer esto para entender porqué estamos más cómodos en un registro sonoro que en otro, y especialmente comprender y asumir la gran dificultad que supone para los instrumentistas el registro sobreagudo puesto que este está cercano a la zona de corte del instrumento, esto quiere decir que la impedancia o resistencia es nula o casi nula, por lo que el instrumento deja de existir ya que físicamente no es capaz de responder a la vibración inducida por los labios del intérprete.

Que el músico comprenda las limitaciones del instrumento es importante para evitar frustraciones innecesarias, las cuales por desgracia son habituales y la mayoría de las veces producto del desconocimiento.

2.1.2 La impedancia y la calidad sonora

En el laboratorio, con ayuda de lo que se conoce como ‘tubo de impedancia’, se ha analizado la respuesta de diferentes trombones de varas de varias gamas. La finalidad de este experimento es conocer la impedancia de cada uno de los modelos elegidos y realizar un estudio comparativo con el fin de correlacionar dicha respuesta. Esta es objetiva al no intervenir el intérprete, con la calidad sonora que se le presupone según la gama a la que pertenecen en función de su precio medio de adquisición por un usuario. Y además se extraen conclusiones sobre sus diferencias sonoras.

Para este cometido se diseñó y construyó un tubo de impedancia con diferentes posiciones para abarcar toda la gama de frecuencias con fiabilidad.

Los principales resultados se exponen en el artículo Esteve-Rico y Vera (2015a). A modo de resumen podemos decir que según el instrumento que usemos la zona de máxima respuesta es diferente para cada uno. Además, en la zona cercana a la frecuencia de corte cada instrumento tiene una respuesta característica. Esta información puede ser de gran utilidad la hora de adquirir un instrumento, pues acota el uso que pretendamos darle y deberá estar a la altura de la necesidad y exigencia del registro sonoro que obligue el repertorio a interpretar.

Además, se realiza una encuesta acústica con los trombones analizados, y aunque en líneas generales los de alta gama salieron beneficiados, con la excepción del Bach 42 (caso particular, por incidencias, que analizaremos en el apartado 2.3.1) el trombón de plástico (*P-Bone*) fue bien valorado. Esto nos lleva a reflexionar sobre el papel que juega de nuestra apreciación sonora a la hora de comprar un instrumento. Sin duda, obtener información sobre el rendimiento acústico del instrumento a comprar (zona de máximos, frecuencia de corte, entre otros) y la combinación de las sensaciones del intérprete al probar el instrumento sería la mejor propuesta para nuestros intereses.

En este estudio, el tubo de impedancia se postula como una excelente herramienta para evaluar la calidad sonora del instrumento y la información que aporta sobre el rendimiento del instrumento es de gran interés para los intérpretes.

2.1.3 La impedancia como herramienta de control de calidad

Los principales resultados de este punto se exponen en Esteve-Rico, Castiñeira, Rubio y Vera (2016b). Este artículo destaca el tubo de impedancia como elemento no invasivo para controlar el rendimiento sonoro del instrumento.

Gracias a haber realizado el estudio sobre una amplia muestra de trombones se pudo constatar que, si uno de ellos presenta resultados de rendimiento anómalos en respecto a sus pares por gama de calidad, lo más probable es que dicho instrumento presente algún defecto importante en su morfología y sea necesario repararlo. El análisis de impedancias es un excelente procedimiento para detectar micro fugas o desperfectos en la arquitectura del recinto del instrumento que de otro modo serían indetectables con los procedimientos rutinarios de control, como soplar por una entrada de la vara taponando la otra para observar si perdemos aire.

Cuando las micro fugas no son detectadas por los procedimientos rutinarios, el rendimiento del intérprete mengua y provoca frustraciones puesto que la evidencia de la baja

calidad sonora es usualmente asumida por el propio ejecutante y atribuida a la falta de tono o a una práctica insuficiente, mermando su moral sin pensar en la posibilidad de que el instrumento no esté funcionado correctamente.

En el ejemplo particular sobre el que tratamos en el artículo que nos compete se demuestra que el estudio de la impedancia nos ha servido para detectar las causas de un rendimiento anómalo en un trombón en particular pero que por supuesto es extrapolable al resto de aerófonos de viento metal.

2.1.4 La impedancia y su relación con el material de construcción

El material de construcción de los instrumentos de metal tiene cierta relevancia en la sabiduría popular de los músicos ligada a la calidad sonora de un instrumento. Pero si nos atenemos a los resultados que arroja el estudio realizado en el desarrollo de la investigación en esta tesis, esa idea es en definitiva una evidencia más de la desconexión fehaciente entre la acústica musical y la formación adquirida en las enseñanzas musicales del conservatorio.

Sin duda, la influencia del material de construcción en el sonido ha sido y es objeto de debate entre los investigadores tal y como se verá en el apartado 2.5, puesto que, si dejamos a un lado las virtudes y habilidades del intérprete, todos coinciden en que la calidad del sonido producido está determinada por la calidad de la vibración de la columna del aire confinada dentro del tubo.

Desde el punto de vista científico existen posturas encontradas a la hora de valorar si el material de construcción de los instrumentos tiene alguna influencia. Por un lado, existe la opinión de que el metal de construcción contribuye de forma moderada a la calidad del sonido. Por otro lado, se encuentran los autores que desestiman totalmente dicho efecto. Información de la que podremos obtener más referencias en el apartado 2.5.

Los resultados principales de nuestra experiencia se exponen y describen en Esteve-Rico y Vera (2017b). El método utilizado para valorar la acción del metal de construcción es la grabación simultánea de la serie armónica con un transductor de presión sonora y con otro de velocidad de desplazamiento por contacto (micrófono Behringer y transductor Schertler Dyn Uni P48, respectivamente). Aparte, como información adicional, se obtuvo la respuesta en frecuencias de la campana, golpeándola con un percutor de maza toroidal de caucho, para así estimar el coeficiente de amortiguamiento del material de construcción usado para la fabricación. La experiencia se lleva a cabo sobre dos campanas idénticas construidas con distinto material y dispuestas sobre el mismo cuerpo de trompeta, la

finalidad es evaluar la diferencia relativa de sus propiedades elásticas de vibración, aunque sea de forma aproximada.

Los resultados que ofrecen las grabaciones establecen que no hay ninguna evidencia significativa en favor de un material de construcción u otro para la trompeta máster Sib. La respuesta obtenida al percutir las campanas es diferente entre un material y otro, pero este hecho no se detecta en el sonido grabado por los transductores.

Aunque nuestros resultados no son determinantes ni vienen a solucionar el dilema sobre el material de construcción de los instrumentos de viento metal, podemos afirmar que en el caso que hemos estudiado en particular, de dos instrumentos idénticos en su forma, diámetro, espesor de la pared y con campanas con distinto material de construcción, la acción de este es muy leve o insignificante.

2.1.5 La impedancia y el efecto de la adición de masas y/o Clappers externos

Como se ha citado anteriormente, los instrumentos de viento metal tienen una zona de máxima respuesta que viene determinada por la forma del tubo, la campana y la boquilla, y una frecuencia de corte en la que el instrumento ya no responde a la vibración la columna de aire. La combinación de estos elementos es el caballo de batalla de los constructores artesanales de los instrumentos de viento metal. La problemática se podría centrar en dos tendencias constructivas:

- 1) Conseguir un sonido brillante con respuesta y apoyo para el instrumentista en el registro agudo. Para este caso de instrumentos, el sonido puede llegar a ser estridente (Brassy o barritante) para la emisión de las notas cercanas a la zona de máxima respuesta del instrumento con la dinámica *ff* o *fortissimo*.
- 2) Que el sonido sea menos brillante (con menos respuesta en los armónicos superiores, registro agudo), con una zona de máximos más centrada en el espectro armónico, se dice que más equilibrado puesto que desaparece la posibilidad de que el sonido se rompa por excesiva presencia de agudos.

El segundo estilo constructivo de instrumentos de viento metal peca de falta de respuesta en los armónicos superiores. Por tanto, estos intentan paliar esta carencia sin renunciar a su propuesta de equilibrio. Por ello, se fabrican accesorios exteriores que añaden al cuerpo del instrumento con la finalidad de aportar al instrumentista respuesta en el registro agudo.

Como existía la posibilidad de disponer de accesorios de este tipo desarrollados por la marca Stomvi que aduce su estilo de fabricación al tipo equilibrado que acabamos de describir. Nos propusimos, en el laboratorio de acústica aplicada de la Universidad de Alicante, realizar un análisis de dichos elementos estudiando su efecto sobre la respuesta en impedancia de un mismo trombón de dicha marca.

El estudio se ha llevado a cabo tanto para las masas dinámicas (denominadas así por la marca) que son una masa troncocónica encerrada en una especie de recinto cilíndrico como para los denominados ‘*Clappers*’ donde ahora la masa es similar a un crótalo o campanilla roscada al propio contenedor, ya usemos uno u otro se abrazan a uno de los tramos de la tubería del instrumento.

La razón de ser de los beneficios que se consiguen con la adición de estos elementos aducidas por los constructores de estos accesorios es conseguir desplazar la zona de máxima respuesta en impedancia del instrumento y de alguna forma obtener mayor comodidad en la respuesta de agudos sin que aparezca el ‘brassy’ o sonido roto en agudos.

En el artículo titulado “Estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un ‘trombón de varas’ en función de su espectro de impedancia acústica”, presentado en el congreso de Tecniacústica-Valencia 2015 (Esteve-Rico et al., 2015a) y organizado por la SEA, presentamos los principales resultados obtenidos de la investigación sobre este tipo de aditamentos.

El efecto de las masas dinámicas se puede apreciar en el espectro armónico del instrumento analizado con el tubo de impedancia. Las masas dinámicas producen un efecto como de focalización en diferentes armónicos del espectro según sea el peso de la masa dinámica que se use, pero no se evidencia ganancia alguna en el registro sobreagudo.

Para paliar esta disparidad de sonidos y como evolución de las masas dinámicas, se desarrollan los *Maxiclappers*. Estos contienen una campanilla, a modo de crótalo, como ya hemos descrito, encapsulada en el accesorio cuya pretensión es de otorgar a los instrumentos con menor impedancia en los armónicos superiores el apoyo y respuesta que buscan los intérpretes en el registro agudo, de esta forma obtendríamos un instrumento novedoso.

Según los estudios realizados, los *Maxiclappers* se comportan como masas dinámicas que afectan la zona de máximos centrales, pero no ganan o aportan impedancia en la zona o frecuencia de corte del instrumento.

2.2 La impedancia en los instrumentos aerófonos de viento metal. Principios teóricos.

El contenido de esta introducción se presentó a modo de conferencia para los alumnos del máster de ingeniería acústica de la Universidad Politécnica de Gandía el 05 de mayo de 2015, y bajo la tutela del Dr. Rubén Picó.

El propósito que se persigue con este capítulo es abordar los temas más recurrentes que se dan en el aula de viento metal pero desde la perspectiva de la acústica musical. Con ello se pretende dotar al alumno de información objetiva y transversal a su formación, de modo que esta sea más enriquecedora y favorezca su desarrollo como intérpretes.

Además, esta formación teórica favorecerá al alumno y junto con las prácticas o experiencias que emanan de ella, como veremos en el siguiente punto, se le encauza hacia una nueva perspectiva con la finalidad de dominar la técnica y el conjunto de las posibilidades sonoras. Se trabaja toda la información que un docente necesita para el desarrollo cotidiano de la labor en el aula de viento metal. Es decir, cómo son el funcionamiento de la boquilla, cuerpo, campana, material de construcción y cómo las masas dinámicas afectan a la columna de aire vibrante. Este concepto lo abordaremos en términos de impedancia en los aerófonos de viento metal y lo definiremos más adelante.

El estudio de la impedancia en los aerófonos de metal nos facilita la comprensión del comportamiento sonoro de estos instrumentos.

Por impedancia entendemos:

- **Música.** Es la respuesta u oposición del instrumento a la fuente de vibración del intérprete.
- **Física.** Es la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan. Relación entre presión y velocidad de las partículas. Suponiendo ondas planas la impedancia desde el punto de vista forma se puede definir como:

$$Z = \rho_0 \cdot c \cdot \frac{1+R}{1-R}; \left\{ \begin{array}{l} R \rightarrow 1 \dots Z \rightarrow \infty \\ R \rightarrow 0 \dots Z \rightarrow \rho_0 \cdot c \end{array} \right\}, \quad (1)$$

donde ρ_0 es la densidad del aire en kgm^{-3} , c es la velocidad de propagación de las ondas sonoras en el aire en ms^{-1} y R es el coeficiente normalizado a la unidad de reflexión. A partir de la ecuación (1) podemos interpretar que ante la ausencia de cualquier elemento rígido que dificulte la propagación de ondas sonoras ($R = 0$), la impedancia acústica tiende a un valor asintótico de $\rho_0 c$, la cual se define como la impedancia acústica específica (cuyas

unidades son $\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ o Rayls). Esta impedancia depende de forma única de las características físicas del medio y variarán en función de sus propiedades. Sin embargo, ante la presencia de una pared rígida, es bien sabido que existirá una onda reflejada ($R=1$), por lo que, en este escenario, la impedancia crecerá tendiendo a infinito. De esta forma, podemos establecer una analogía entre la interpretación “musical” y “física” de la idea de la impedancia.

En el campo que nos atañe, la impedancia está condicionada por la acción/reacción que desempeña cada una de las partes de los instrumentos de viento metal (boquilla – cuerpo - campana). Para abordar su estudio nos apoyamos en el texto de Heller (2013) con el título “Why You Hear What You Hear”.

2.2.1 Cuerpo (Tubo semicerrado).

Los aerófonos de la familia del metal se comportan como tubos semicerrados. Abiertos por la fuente de vibración y cerrados por el otro extremo, donde se producen las reflexiones.

Si solo existiera un tubo cilíndrico longitudinal de sección constante sin campana ni boquilla tendríamos la respuesta en frecuencias con una amplitud decreciente. Por supuesto los instrumentos son finitos y según su longitud así será el tono fundamental a la que resonará gracias a la acción vibratoria de los labios dentro del tubo o instrumento al que asociaremos una determinada sonoridad y timbre según sea la composición de sus parciales.

2.2.2 Campana (Recinto hiperbólico truncado).

La campana tiene una triple función: realiza un desplazamiento de los armónicos, recorta la impedancia de los armónicos superiores y caracteriza el timbre del instrumento dado que la pérdida de impedancia en estas frecuencias superiores produce una gran radiación de ellas sin resonancias posibles en el propio instrumento. En la Figura 3 se muestra el ejemplo propuesto por Heller (2013).

Como hemos visto las campanas recortan la resonancia de las frecuencias superiores si son comparadas con un tubo de sección continua. Pero a pesar de eso, si el intérprete ejecuta adecuadamente el registro agudo, con una correcta inspiración profunda y la posterior presión abdominal que favorece la salida del aire gracias al empuje vertical, las campanas pueden radiar hacia el exterior estas frecuencias superiores. Esto es debido a que la reflexión es muy pequeña (impedancia) y las campanas actúan como un megáfono (es el

sentido de radiación, más el de direccionalidad que el de radiación estructural de la propia campana).

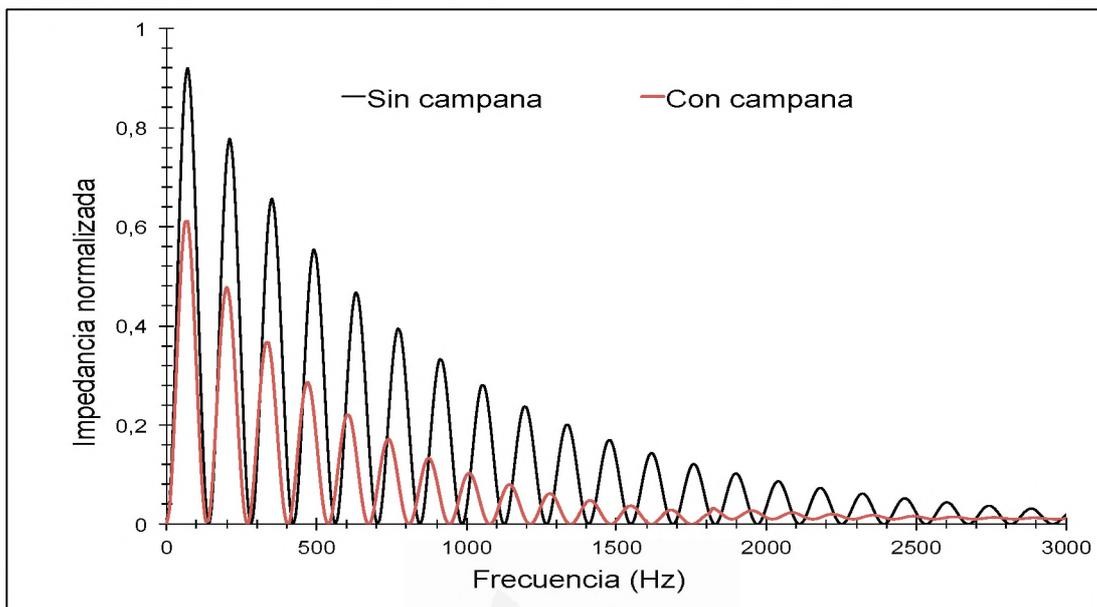


Figura 3: Ejemplo sobre el recorte de las frecuencias superiores al añadir la campana al tubo. En negro impedancia del tubo solo; en rojo impedancia de la campana+tubo. Adaptado de: Heller, E. (2013). *Why You Hear What You Hear*. Princeton: Princeton University Press, p.326.

Si se entiende la campana como un megáfono podemos pensar que esta está sujeta a modificaciones que afecten a la sonoridad del instrumento. Sobre la influencia del tamaño de la campana en el sonido cabe destacar un estudio realizado por Murray Campbell, Arnold Myers y John Chick (2013) y que confirmaron la experiencia general de que una campana más grande suena más lleno y con mayor amplitud, a la vez que menos brillante que una campana pequeña y estrecha.

Además, Heller (2013) implementa la teoría de Levine y Schwinger (1948) para afirmar que la campana es tan importante para un instrumento que determina qué frecuencias se reflejan y cuáles no. Usando adecuadamente la teoría de estos autores se puede encontrar una relación entre el diámetro de la boca de la campana y el coeficiente de reflexión (impedancia). Además, la curvatura de las campanas no es progresiva ni cónica, sino que cambia según los fabricantes. Por ello hay que tener en cuenta que si el cambio de curvatura de la campana es grande puede que el efecto de reflexión se produzca antes. Es decir, es como si el contacto con el aire exterior se produjera antes (dentro de la campana) aunque no es así sino que hay un cambio de impedancia por forma, (y como se sabe todo cambio de impedancia produce una reflexión apreciable como si en ese punto colocáramos un obstáculo para una determinada frecuencia) tal y como se observa en la Figura 4.

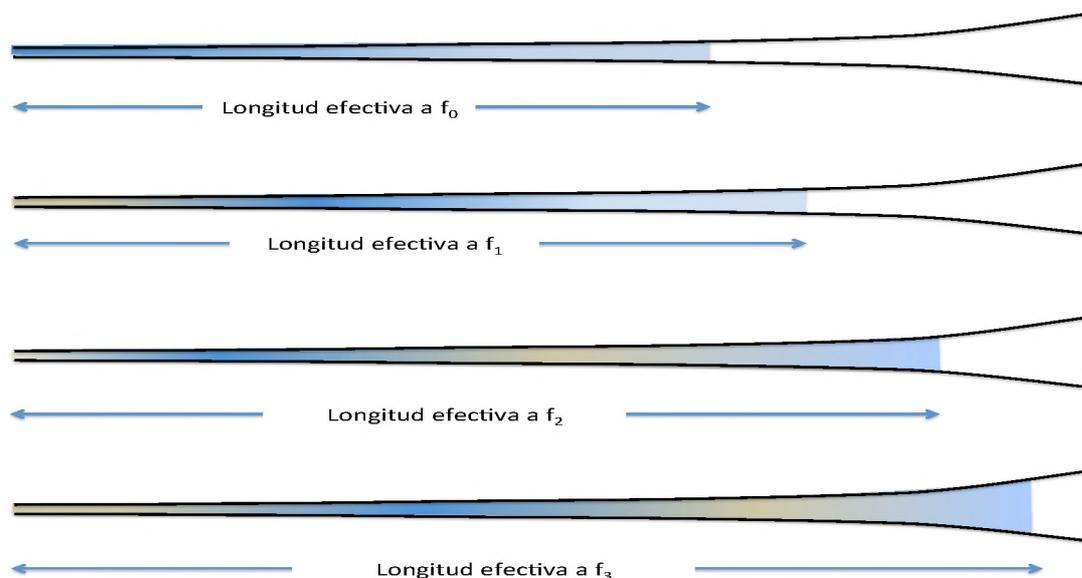


Figura 4: Ejemplo de las reflexiones sonoras en la campana de los aerófonos. Fuente: Heller, E. (2013). Why You Hear What You Hear. Princeton: Princeton University Press, p.321.

2.2.3 Boquilla (Recinto de Helmholtz).

En la Figura 5 se muestra un esquema de una boquilla, la cual influye en la respuesta en impedancia del instrumento modelándola, gracias a su forma y favorece las frecuencias centrales. Por ello, la zona de máxima impedancia del instrumento la propicia la forma de la boquilla. Según Campbell (1987) la boquilla actúa como un resonador de Helmholtz y tiene su propia resonancia determinada por el volumen de aire que está encerrado en ella, por la longitud de la caña y el área del granillo. Es por ello por lo que esta fortalece la resonancia en el instrumento en las frecuencias propias de la boquilla, y reduce la respuesta en las frecuencias de los modos superiores y graves.

Nuestro primer acercamiento a la función o efecto de la boquilla tuvo lugar a partir de la lectura del libro *Why you hear waht you hear* Eric J. Heller (2013). Como consecuencia de dicha lectura donde se trata el caso de una trompeta, mantuvimos correspondencia vía correo electrónico durante el presente curso 2018. Fruto de este contacto, Heller nos proporcionó un esquema de cuál es desde su punto de vista el efecto de la boquilla sobre el espectro de impedancia del trombón, véase la Figura 6. Para Heller, si midiésemos la impedancia de un trombón sin boquilla obtendríamos, desde el punto de vista de la envolvente, gran respuesta en las frecuencias inferiores o graves y poco a poco estas irían menguando, tal y como muestra la línea discontinua naranja en la Figura 6. Mientras que la envolvente de la impedancia de la boquilla, línea verde continua en la Figura 6, tendría un máximo en la frecuencia de Helmholtz según su geometría. El resultado del conjunto

boquilla más trombón se puede calcular multiplicando ambas envolventes, obteniendo la respuesta que se muestra con la línea continua azul. Una interpretación global del fenómeno podría ser el considerar el efecto de la boquilla como de un formante.

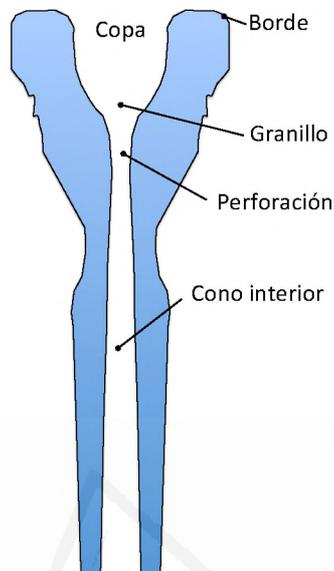


Figura 5: Partes de la boquilla. Fuente: Stork, Phyllis (1989). La boquilla y todo lo que hay que saber. Vuarmarens: Ed. BIM.

Esta idea nos parecía brillante, dado que al entender la formante de la boquilla delimitaba la zona de resonancia del instrumento. Sin duda, esta afirmación resulta tan importante para el entendimiento del funcionamiento de los instrumentos de viento metal que nos hizo planteáramos la siguiente cuestión: ¿Si fuéramos capaces de modificar fácilmente la formante de la boquilla podríamos adaptar las resonancias del espectro armónico de los instrumentos de viento metal a las necesidades de los alumnos-intérpretes?

Para ello, pensamos un proyecto en dos fases. En primer lugar, reproducir cada uno de los pasos que marca Heller en la Figura 6 para corroborar sus afirmaciones. Y posteriormente, modificar la longitud y forma de las boquillas. De esta forma podríamos analizar cómo se comporta el formante de la boquilla que delimita las resonancias del instrumento.

Para tener diferentes boquillas reproducimos en plástico con la impresora en 3D de la Universidad de Alicante la boquilla de trombón 6BL de JK de metal. Y otras dos de longitud más pequeña y longitud mayor, estas variaciones se realizaron en la zona troncocónica intermedia. En total contamos con 3 boquillas de plástico y una de metal.

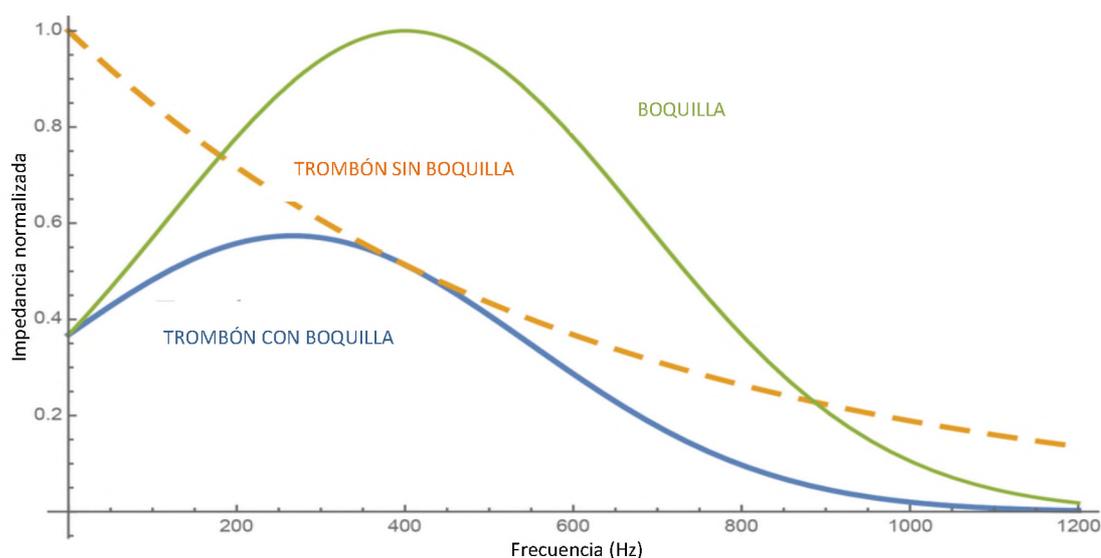


Figura 6: Envoltura espectro impedancia trombón sin boquilla (naranja) – Envoltura del espectro de impedancia de la boquilla (Verde) – Envoltura del espectro de impedancia del trombón con boquilla (azul). Fuente: Heller, E. (2017) vía email al autor.

Estas boquillas fueron analizadas con el tubo de impedancia para distintas disposiciones. Los casos estudiados fueron los siguientes:

- Trombón sin boquilla.
- Boquilla de metal sola.
- Trombón con boquilla de metal 6BL.
- Boquilla de plástico 6BL.
- Trombón con boquilla de plástico 6BL.
- Boquilla de plástico de longitud pequeña.
- Trombón con boquilla de plástico de longitud pequeña.
- Boquilla de plástico de longitud grande.
- Trombón con boquilla de plástico de longitud grande.

El resultado del primer paso al analizar la respuesta en impedancia del trombón sin boquilla fue muy parecido a lo expuesto por Heller en la Figura 6. Salvo, la excepción de las frecuencias correspondientes al índice acústico Re_4 (293 Hz) y Fa_4 (349 Hz) que encuentran su propia resonancia dentro del trombón. Véase la Figura 7.

El segundo paso, correspondía a la impedancia de la boquilla en solitario. Se muestran en la Figura 8 los resultados para las cuatro boquillas estudiadas. Se puede apreciar que la boquilla denominada “media” que es la que corresponde a la copia de la original tiene una respuesta algo diferente que se puede atribuir a variaciones de forma imperceptibles y muy difíciles de controlar en este tipo reproducciones mediante impresoras 3D. La única

cuestión clara y evidente es que la variación de longitud influye en su frecuencia de resonancia Helmholtz.

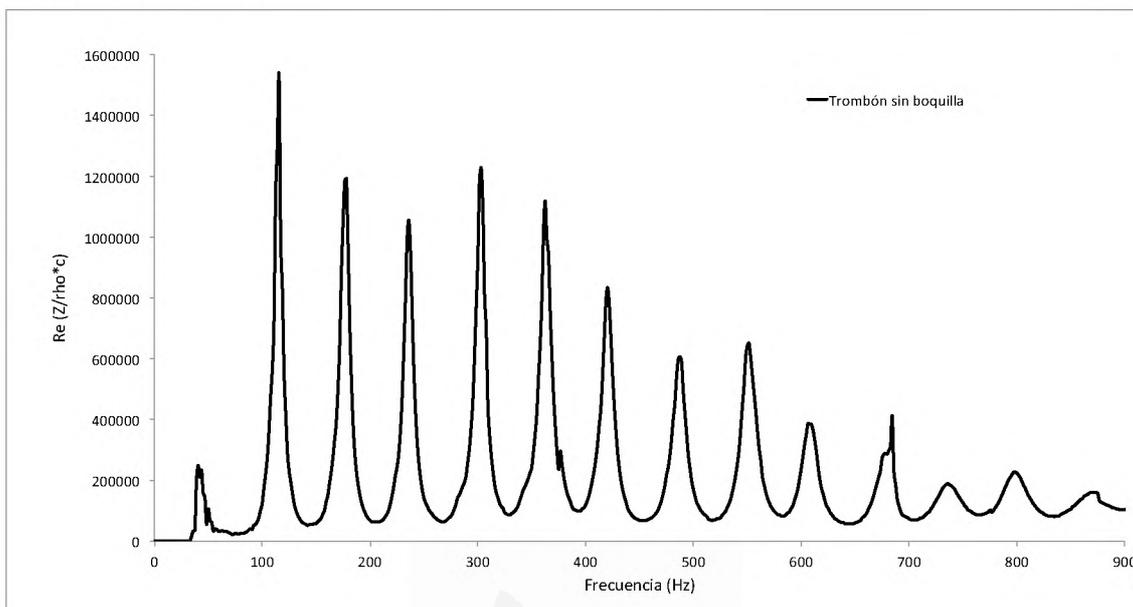


Figura 7: Análisis de impedancias. Espectro armónico del trombón Bach 42 sin boquilla. Fuente: Figura realizado por el autor.

Al compara este resultado de la boquilla con el que propone Heller, línea verde en la Figura 6, podemos decir que la envolvente que nos muestra Heller tiene una influencia mucho más amplia en frecuencias que la respuesta que muestran nuestras boquillas que son muy estrechas.

Si ahora observamos las respuestas de la boquilla de metal sola, trombón solo y trombón con boquilla de la Figura 9, vemos que el efecto de la acción de la boquilla sobre el espectro de impedancia del trombón es doble: desplaza las resonancias hacia frecuencias más bajas debido a que el trombón con boquilla es un tubo más largo, el efecto es más marcado cuanto más alta es la frecuencia de resonancia y apenas se percibe en las resonancias más graves. Y por otra parte realiza una amplificación para todo el espectro, pero más notoria o selectiva alrededor de la frecuencia propia de la boquilla. A grandes rasgos es muy parecido a lo que propone Heller con su interpretación a partir de las envolventes.

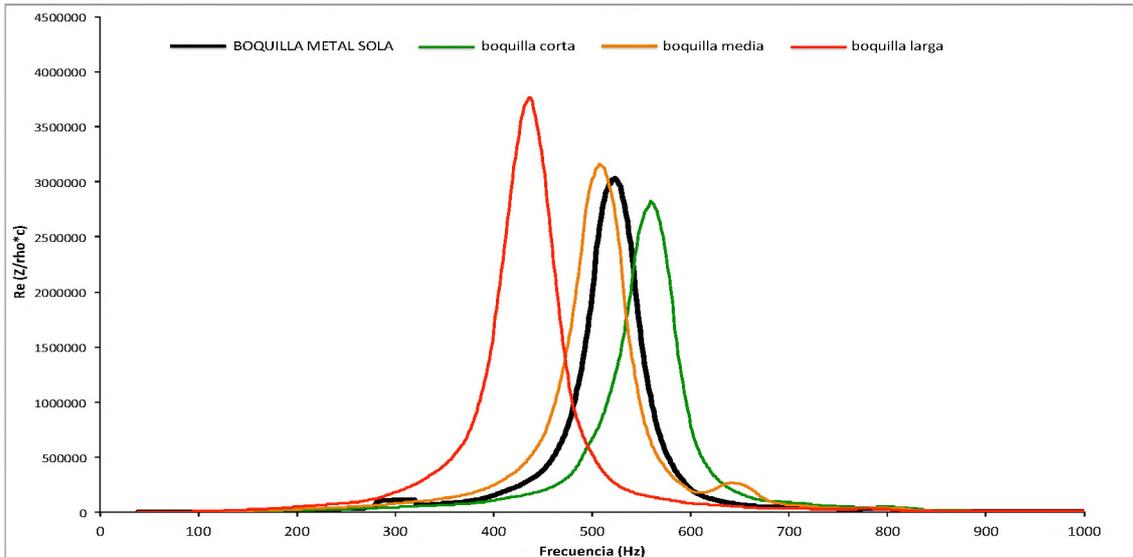


Figura 8: Frecuencias de resonancia de las boquillas analizadas en función de distintas longitudes de la parte troncocónica. Fuente: realizado por el autor.

No entramos en cuestiones sobre los resultados obtenidos relacionados con el material de construcción de las boquillas (metal y plástico) puesto que las condiciones de masa eran distintas y por tanto no nos aportan ninguna información de forma objetiva para esta investigación.

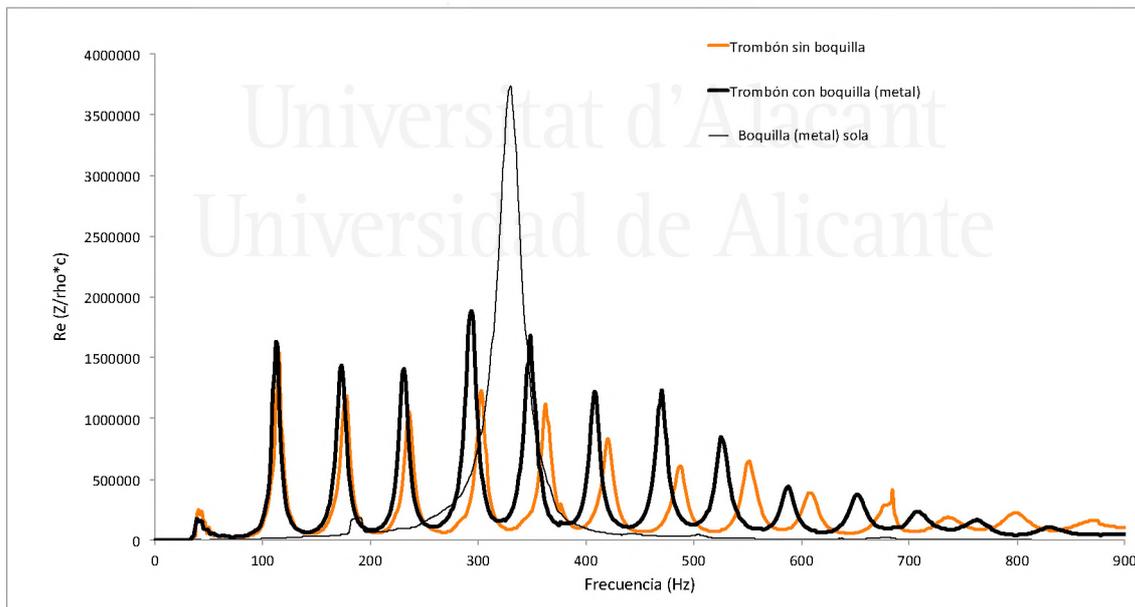


Figura 9: Comparativa de la formante del espectro de impedancia en los casos analizados para distintas longitudes de la parte troncocónica de la boquilla. Fuente: realizado por el autor.

Sin duda, la boquilla influye en gran parte en el rendimiento del intérprete. De esta dependen factores como la comodidad en la emisión, articulación, respuesta u otros factores que comenta el constructor de boquillas Stork (1989) en su trabajo: La boquilla y todo lo

que hay que saber. Pero con esta investigación sabemos que esta no puede modelar la respuesta en impedancia de las resonancias del instrumento.

La suma de la boquilla, tubo y campana componen la serie armónica de cada instrumento. Esto es debido a que la combinación de la boquilla bajando las frecuencias altas, y la campana elevando el modo inferior de frecuencias, da al instrumento resonancias que están muy cerca de una serie armónica completa tal y como se puede ver en la Figura 10.

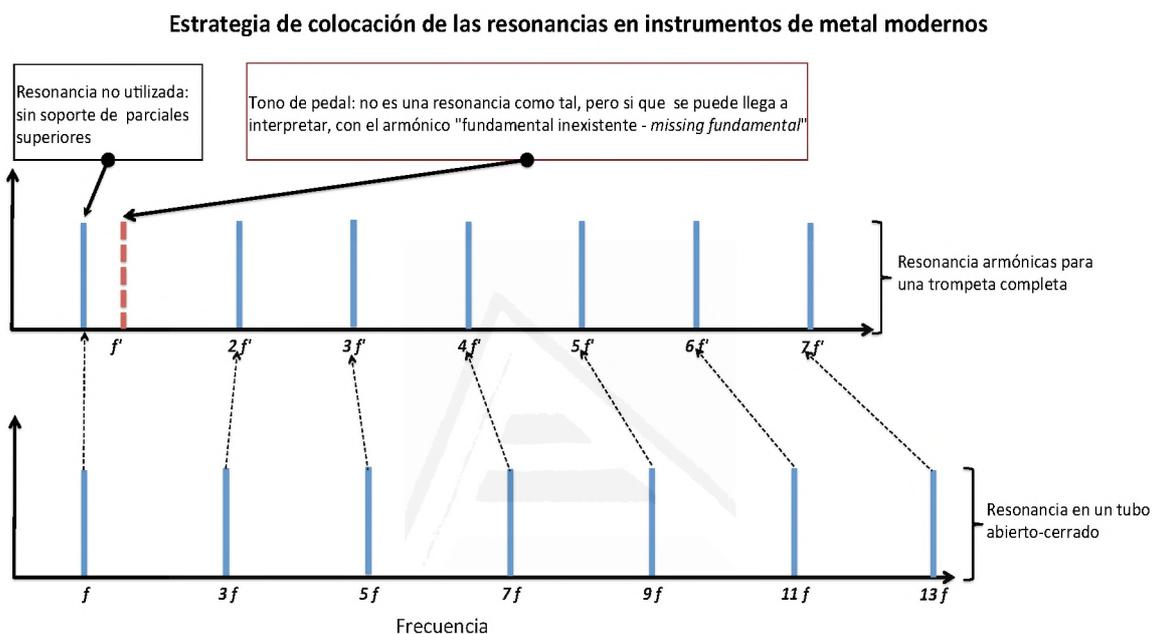


Figura 10: Resonancias armónicas de la trompeta completa respecto a las de un tubo abierto-cerrado. Fuente: Heller, E. (2013). Why You Hear What You Hear. Princeton: Princeton University Press, p.317.

La serie armónica no está completa porque, además de las desafinaciones, especialmente del séptimo parcial, con la combinación de la campana y la boquilla al tubo sonoro las frecuencias se adaptan dando lugar a una serie armónica casi completa por la escasa resonancia para el tono pedal. Prueba de ello es la imposibilidad de las trompetas para emitir el tono pedal.

A pesar de esto los labios pueden funcionar de forma autónoma, sin la ayuda de las resonancias del tubo, y es por eso por lo que, aunque el instrumento no resuene a la frecuencia pedal y las superiores, el labio o fuente de vibración permite reproducir de forma fiable el registro agudo y el tono pedal dando lugar a una serie armónica completa como la ilustrada en la Figura 11, especialmente en trompas, trombones y tubas.

Serie Armónica



Figura 11: Serie armónica con los 16 primeros parciales. Fuente: Realizada por el autor.

Para determinar la impedancia de los instrumentos de viento metal con precisión, además de las citadas características tubo, boquilla y campana y que son determinantes para la columna del aire vibrante, se debe observar además el material de construcción. Richard Smith (1978) encontró que lo que afecta la impedancia del instrumento es el grosor del material de la pared más que el material de construcción.

Es muy probable que un cambio de la conicidad del taladro pudiera producir cambios de tono equivalentes o mayores sin alteración de la aleación o grosor del material de construcción, pero utilizando aleaciones diferentes, con las mismas dimensiones se proporciona al fabricante una solución económica, ya que los diámetros de las tuberías que se usan para la fabricación del cuerpo son estandarizados. Las variaciones en la aleación del metal o la dureza pueden ser más importantes para el intérprete que para el oyente.

Hoy en día existe una gran tradición en la elaboración de distintos materiales de construcción para los aerófonos de metal entre los que Kristensen (2014) destaca:

- Red brass (90% de cobre, 10% de zinc)
- Gold mesing (85% de cobre, 15% de zinc)
- Yellow brass (70% de cobre, 30% de zinc) Este es el material más común.
- Similar (cobre 80%, zinc 20%) y cuyo nombre proviene por su semejanza al oro.
- Otros materiales de construcción menos usuales son acero, níquel y plástico

Sobre la influencia del material de construcción existen opiniones contradictorias desde los inicios, tal y como observamos en Miller (1909). Actualmente sabemos que la influencia del metal de construcción puede ser escasa o nula (Alaman et al., 2006).

“Una de las características de los instrumentos de viento, desde el punto de vista acústico, es que la columna de aire actúa como resonador. El aire tiene un comportamiento tipo masa y elástico de forma que la vibración de las paredes del instrumento influye poco en su sonoridad”.

Gautier, Geraud y Gilbert (2013) demostraron que el material de construcción produce cambios muy leves sobre la impedancia del instrumento, sobre este particular incidiremos más adelante en 2.5.

Para terminar de perfilar todas las variantes que influyen en la impedancia del instrumento y que modifican su timbre es obligatorio presentar el efecto brassy estudiado por Myers, Pyle, y Campbell (2011). Esta nueva sonoridad surge cuando la presión aumenta lo suficiente por efecto de la vibración no lineal de los labios y la velocidad de propagación cambia. Este fenómeno induce una dispersión que puede apreciarse en la Figura 12. Cuando este efecto se hace más pronunciado se produce un cambio en el timbre, ya que la forma de onda se ve afectada y por lo tanto su distribución espectral a lo largo del tiempo.

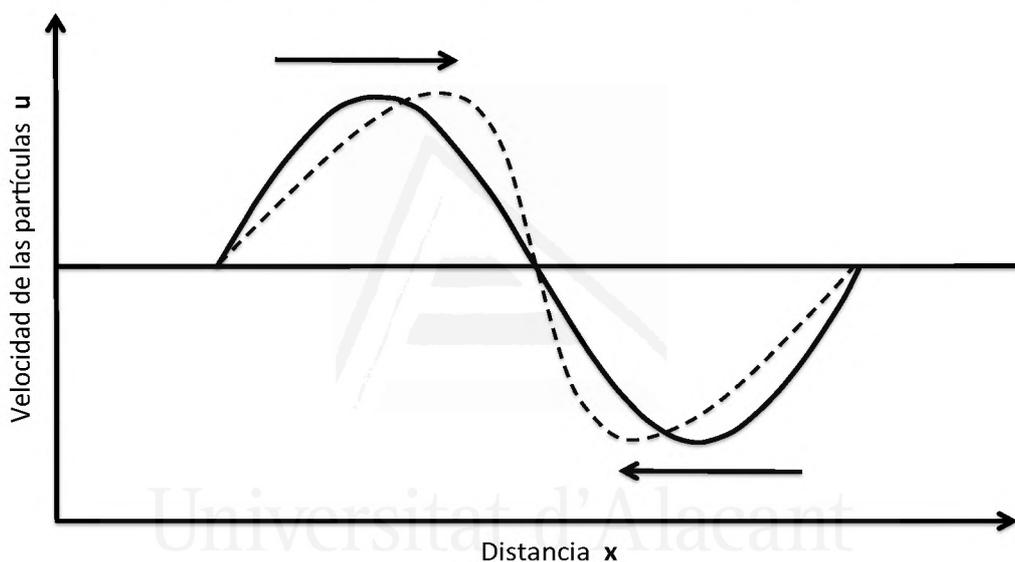


Figura 12: Ejemplo gráfico de la influencia en la forma de onda con el aumento de la presión y cambio de la velocidad de propagación de carácter no lineal. Fuente: Myers et al. (2011).

2.3 La impedancia: Evaluación de la calidad sonora

Una vez establecidos los principios teóricos sobre el funcionamiento de las diferentes partes que intervienen en la impedancia del instrumento, pasamos a establecer un sistema objetivo que valore la calidad del instrumento gracias a la evaluación de su calidad sonora. Para esto disponíamos de un conjunto de trombones de distinta procedencia, distinta gama comercial y con materiales de construcción variopintos desde el *Gold-messing* hasta el plástico y sin más datos específicos sobre la construcción de los instrumentos utilizados que su geometría exterior. Durante las pruebas lo único que se mantuvo constante fue la boquilla

(STOMVI 5AL) con lo que todos los cambios que fuera posible encontrar se debería a la forma particular del instrumento y la calidad de sus acabados. En definitiva, podríamos observar de forma general como influían los trombones de diferentes marcas y gamas en la calidad del sonido.

En principio, la forma que utilizamos (el dispositivo experimental) para acceder a esta información es complicada hoy en día para docentes y alumnos del mundo musical, pero los resultados que se emanan de ella son objetivos y de utilidad para la práctica docente del aula de viento metal, especialmente para la especialidad de trombón.

Se diseñó y construyó un tubo de impedancias específico, ver Figura 13, con diferentes posiciones para poder obtener información fiable desde el registro grave hasta el registro agudo. A este dispositivo se le añadió una terminación donde acoplar nuestra boquilla con cada trombón a estudiar. La excitación se realizó con un generador de ruido rosa amplificado linealmente. Utilizamos este sistema para evitar la subjetividad y relatividad de los resultados, puesto un intérprete es incapaz realizar todas las medidas con la misma presión sonora.



Figura 13: Trombón anexo al tubo de impedancia en la cámara anecoica de la UA. Fuente: fotografía del autor.

El siguiente método de evaluación sobre la calidad del sonido se desarrolla mostrando el contenido principal del artículo: “Análisis comparativo de la impedancia acústica del P-Bone (plastic trombone) frente a otros trombones de su misma tesitura fabricados en metal”.

2.3.1 Análisis comparativo de la impedancia acústica del p-bone frente a otros trombones de su misma tesitura fabricados en metal

Un trombón es excitado mediante los labios del instrumentista que atacan una boquilla, junto la variación de la longitud del tubo junto con otras acciones interpretativas,

el intérprete puede variar la tonalidad y por lo tanto la frecuencia de emisión. Si intentamos representar este sistema mediante modelos discretos de carácter físico, podríamos considerar que un sistema realimentado con un amplificador no lineal, el cual ataca un filtro lineal y un tubo conformarían un modelo teórico sólido (Hirschberg et al., 1996; Fletcher y Rossing, 1998). En este modelo el material de fabricación no es un factor a priori determinante, sin embargo, desde el punto de vista musical, el material de fabricación del instrumento ha jugado un papel relevante en la elección por el intérprete en la adquisición de un instrumento. Existen numerosos trabajos que investigan la influencia del metal utilizado en la fabricación del instrumento en la articulación del sonido del instrumento (Kausel y Mayer, 2008; Whitehouse y Sharp, 2008; Nief et al., 2008; Pyle, 1998). Los autores Logie (2012), Smith (1978) y Smith (1978) relacionan la capacidad de generar un mayor nivel de presión sonora con la rigidez presente en las paredes del instrumento, pero rechazan la hipótesis de que el material utilizado afecte de forma directa a la distribución armónica del mismo. En el trabajo de Moore et al. (2007) afirman que las vibraciones presentes en la campana o apertura del instrumento juegan un papel crucial en la propagación de las ondas sonoras producidas. Sin embargo, es difícil vincular este fenómeno con una sola razón como puede ser el grosor de las paredes del instrumento, el tipo de material o la forma. Además, hay que destacar que en ocasiones, cambios drásticos en las características físicas del instrumento en términos de material o formas, no afecta de forma notable en la percepción del instrumentista (Plácido et al, 2011).

Existen referencias que afirman que las variaciones en la geometría interna del instrumento modifican las propiedades resonantes del instrumento y por lo tanto, el músico necesita adaptar su interpretación para obtener la respuesta esperada del instrumento (Poirson et al., 2005; Pratt y Bowsher, 1978, 1979). Dado que el instrumento puede considerarse como un sistema resonante, el músico puede excitar diferentes frecuencias cercanas a la frecuencia de resonancia del instrumento, las cuales se corresponden con picos en la curva de impedancia obtenida de forma experimental. De forma general, las bajas frecuencias son rechazadas por el instrumento y mediante este mecanismo se conforman las frecuencias de resonancia y anti-resonancia. Este comportamiento es utilizado por el músico para ajustar la vibración de sus labios y sintonizar dicha excitación con las frecuencias de resonancia del instrumento (Chick et al, 2010).

La percepción del instrumentista es muy difícil de evaluar de forma objetiva. Las sensaciones percibidas por el músico sobre cómo de fácil o difícil le resulta llegar a una nota o articularla con un nivel considerable son el motivo por el cual un instrumento es valorado

de forma positiva. Con la intención de mejorar el conocimiento de estos procesos, muchos autores han realizado investigaciones centradas en desarrollar modelos y teorías que permitan aunar dichos modelos con las percepciones obtenidas por los músicos expertos (Dudley y Strong, 1990, Plácido et al., 2011, Edwards, 1978, Logie 2012). Cabe destacar de entre todos estos trabajos aquellos dedicados a obtener la función de transferencia del instrumento y establecer una configuración experimental (Beauchamp 2013, 1988), también la contribución de Vereecke (2011) en establecer vínculos entre las propiedades acústicas del instrumento y su interpretación por parte del músico. También existen contribuciones dedicadas a entender los efectos de propagación no lineal y su influencia en la modelización del instrumento (Hirschberg et al., 1996; Fletcher, 1990), y la influencia del tracto vocal en el rendimiento del instrumento tal y como afirman Fréour, Gary, Scavone y Germain (2011). En particular Fréour et al. (2011) afirma que no existe una evidencia clara entre la percepción obtenida por el intérprete y el material de fabricación a parte de los factores estéticos. Sin embargo, Kausel et al. (2010) establece que no hay duda al respecto de la influencia del material utilizado en la fabricación del instrumento y las vibraciones producidas en la campana. Las variaciones en la oscilación de las paredes de la campana modifican en gran medida la columna de aire y esto influye directamente en la impedancia y por lo tanto en la función de transferencia.

En esta tesis se ha realizado un análisis de diferentes trombones comerciales junto con uno realizado en plástico. El análisis se ha realizado en diferentes etapas: en primer lugar, se han realizado una serie de medidas con el tubo de impedancia mostrado en la Figura 13, seguidamente se ha desarrollado un proceso de optimización no lineal sobre un modelo teórico basado en secciones infinitesimales de tipo cónico. La boquilla se ha modelizado como un resonador de Helmholtz y todos estos elementos físicos se han optimizado mediante un algoritmo de minimización del simplex para ajustar la curva teórica con la experimental. Finalmente, se ha realizado una encuesta cuyos resultados se recogen en la Figura 18 en la Sección 2.4.1.

2.3.1.1 Optimización numérica

Según Fletcher y Rossing (1998) la impedancia de entrada de un tubo al cual se le conecta una boquilla puede definirse como:

$$Z_{IN} = \frac{R + Z_p + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\omega C(R + Z_{in,con})} \quad (2)$$

donde $Z_{in,con}$ es la impedancia de entrada proporcionada por el trombón, y los parámetros R , L y C están relacionados con la boquilla (Fletcher y Rossing, 1998, p. 429-460). El parámetro V representa el volumen de la boquilla y se puede modelizar como una compliancia:

$$C = \frac{V}{\rho_0^2 c^2}, \quad (3)$$

siendo V el volumen de la boquilla. Esta pieza también tiene una constricción que se puede representar como una inercancia o masa acústica L como:

$$L = \frac{\rho_0 l_c}{S_c}, \quad (4)$$

donde l_c y S_c son la longitud y la superficie de la sección. El parámetro R está vinculado a las pérdidas de carácter viscoso y térmico. Con el objetivo de modelizar de forma precisa el instrumento se ha dividido el perfil del instrumento en 100 segmentos de longitud L_i , con $i = 1, 2, \dots, 100$ y radios inicial $a_1^{L_i}$ y final $a_2^{L_i}$. En la Figura 14 se muestra de forma gráfica el perfil utilizado para la discretización espacial del perfil de la bocina.

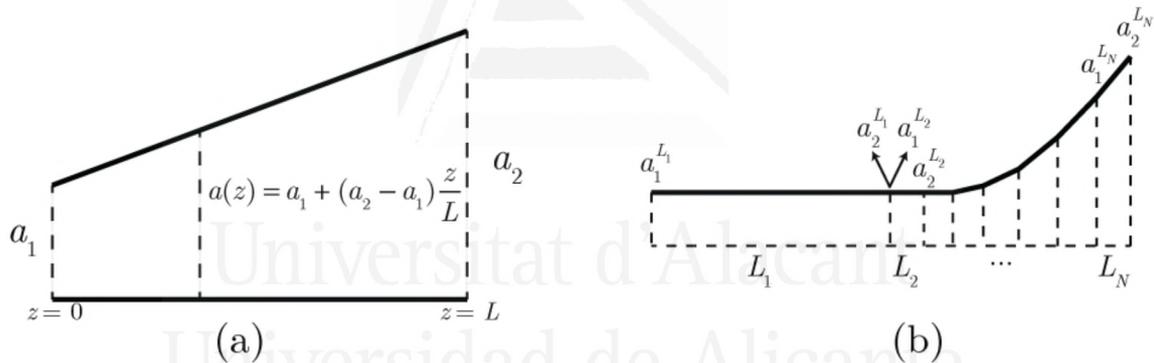


Figura 14: (a) Perfil cónico de longitud L y radios $a_1^{L_i}$ y $a_2^{L_i}$. (b) Representación simplificada de la bocina en sección.

El perfil exponencial, el cual es utilizado de base para la discretización en segmentos cónicos, se calcula a partir del modelo establecido por Fletcher y Rossing (1998) en la página 432:

$$a(z) = b(z + z_0)^{-\gamma}, \quad (5)$$

donde b es un parámetro adimensional de ajuste, z es la posición a lo largo del eje de la campana y z_0 es la posición de la boca de la campana. Tanto z como z_0 se mide en m. El parámetro γ representa la constante de apertura de la campana.

Considerando la aproximación cónica en cada segmento, la impedancia de cada uno de estos elementos puede ser calculada a partir de la siguiente expresión (Fletcher y Rossing, 1998, pág. 201):

$$Z_{in,con} = \frac{\rho_0 c}{S_1} \left(\frac{jZ_L \left[\frac{\sin(kL - \theta_2)}{\sin \theta_2} \right] + \frac{\rho_0 c}{S_2} \sin kL}{Z_L \left[\frac{\sin(kL + \theta_1 - \theta_2)}{\sin \theta_1 \sin \theta_2} \right] - \frac{j\rho_0 c \left[\frac{\sin(kL + \theta_1)}{\sin \theta_1} \right]}{S_2}} \right) \quad (6)$$

Para entender la ecuación (6) es necesario definir una serie de parámetros previamente. En (6) el parámetro k se define como (Fletcher y Rossing, 1998, pág. 435):

$$k = \frac{\omega}{c} - i\alpha, \quad (7)$$

donde α es una corrección a las pérdidas por fricción (Kipp, 2015, pág. 16):

$$\alpha = \frac{3 \cdot 10^{-5} \sqrt{f}}{a}, \quad (8)$$

siendo a el radio del tubo y f la frecuencia. La sección del tubo se define como S_j en z_j y el ángulo θ_j en la ecuación (6) se define como:

$$\theta_j = \arctan kz_j, \quad (9)$$

siendo z_j la distancia medida a lo largo del eje del cono. El índice j toma valores de 1 (garganta) o 2 (boca) para los dos extremos del perfil cónico (Kipp, 2015). La ecuación (6) se evalúa tantas veces como segmentos se consideren para representar el perfil de la campana. La boca de la bocina del trombón puede considerarse de forma aproximada como un sistema radiante basado en pistón en pantalla infinita, por ello, la impedancia de radiación para ese caso canónico puede ser aquí incluida siguiendo el razonamiento establecido por Kipp (2015, pág 15). Finalmente, la contribución de la boquilla y la impedancia del instrumento en su totalidad se evalúan mediante (2).

Una vez definido el modelo teórico se procede a una optimización basada en el algoritmo Nelder-Mead. En concreto, se ha utilizado la curva experimental de la impedancia para ajustar una serie de parámetros del modelo anteriormente detallado. Los parámetros escogidos para la optimización son los siguientes:

- L_1 es la longitud inicial del trombón sin campana.
- V es el volumen de la boquilla.
- S_c es la sección cruzada de la constricción de la boquilla.
- l_c es la longitud de la constricción de la boquilla.
- R es la constante de pérdidas.
- Z_{max} es la longitud total de la campana
- Z_0 es la posición de la garganta de la campana.
- γ es la constante de la campana.

El método numérico se basa en minimizar el error producido entre las curvas teórica y experimental de la impedancia teniendo en cuenta los parámetros anteriormente destacados. La implementación del método se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los

límites físicos de los parámetros de la optimización. El método va variando los valores de dichos parámetros en busca del conjunto óptimo de valores que minimicen el error. El método excluye valores de estos parámetros que no tengan significado físico, como pueden ser longitudes negativas, superficies de dimensiones con órdenes de magnitud no posibles, los cuales en ocasiones pueden conducir a soluciones que constituyen un mínimo local en el error pero que carece de sentido físico.

2.3.1.2 *Análisis comparativo de la impedancia*

Los resultados se muestran en la Figura 15 y también están sintetizados en la Tabla 1. Las curvas permiten extraer una serie de afirmaciones como que el instrumento en general se comporta como un filtro paso banda, donde por las bajas frecuencias no presenta oposición al movimiento de la columna de aire y en todos los casos los diferentes instrumentos se comportan de forma homogénea. Para altas frecuencias es donde las diferencias significativas entre instrumentos pueden ser identificadas. Las notas con amplitudes más elevadas se pueden encontrar en la zona media del espectro, correspondiendo con las amplitudes máximas de la curva de impedancia. Si se compara las amplitudes de los diferentes trombones en la nota B_{b1} no hay diferencias significativas entre todos los trombones analizados salvo el P-Bone. En todos los casos, el P-Bone presenta ciertas facilidades para alcanzar registros más elevados que el resto de los instrumentos. Hay que destacar que el P-Bone proporciona valores de impedancia relativamente bajos en registros donde algunos de los instrumentos analizados ni siquiera ejercen una resistencia al flujo de aire (823.44 Hz – A_{b6}). Esta característica solo es obtenida por el P-Bone y por el Yamaha YSL 354.

El trombón Yamaha amplifica las notas comprendidas en el intervalo B_{b2} - F_4 mediante los valores más elevados de impedancia y por lo tanto con mayor sonoridad en la interpretación. Hay que destacar, que el intérprete para alcanzar la frecuencia de una nota cuando excita el trombón debe de incrementar la presión ejercida por sus labios en la boquilla. Esto normalmente, implica una reducción en el nivel que debe de ser compensada por el intérprete para alcanzar el registro deseado al nivel necesario (Kemp y Smith, 2012). Por ello, un instrumento que presenta una mayor impedancia puede mitigar este efecto y ayudar al intérprete a alcanzar el registro deseado en términos de frecuencia y nivel.

Tabla 1: Tabla resumen de las curvas de impedancia de los trombones analizados.

Patrón Hz-rayl	Si	Si2	Fa3	Si3	Re4	Fa4	La4	Si4	Dos	Res	Mis	Fa5	Sol5	La5	
PATRÓN Hz-rayl A440	58.27	116.54	174.6	233.1	293.7	349.2	415.3	466.2	523.3	587.3	659.3	698.5	784.0	830.6	
Las diferencias en el registro grave son sutiles puesto que el trombón las atenúa al ser un filtro de paso alto					En el registro medio-agudo de los instrumentos se dan las impedancias más grandes y en consecuencia las notas más fuertes					Al acercarnos a la frecuencia de corte las impedancias empiezan parecerse					
Las frecuencias superiores a la fundamental denotan grandes cambios según el modelo					Fuera de la frecuencia de corte sobrepagada los trombones no muestran grandes diferencias entre sí con excepción de algunos picos										
BACH42	(Hz) (rayl)	54.69 01.58	114.06 15.01	175 14.24	231.25 17.94	295.31 19.69	350 22.52	409.38 16.74	473.44 17.29	526.56 18.82	589.06 10.02	656.25 09.05	707.81 06.70	767.19 04.07	837.5 02.69
YAMAHA YSL 354	(Hz) (rayl)	60.94 01.08	114.06 26.93	170.31 25.87	232.81 22.66	292.19 28.16	348.44 31.25	406.25 19.72	467.19 18.74	528.13 17.64	587.5 08.48	654.69 04.33	704.69 08.72	768.75 05.39	829.69 02.50
CONN 888	(Hz) (rayl)	51.56 00.84	110.94 21.77	171.88 17.60	232.81 19.63	296.88 26.19	350 26.03	409.38 24.00	473.44 18.49	531.25 17.19	595.31 09.62	657.81 08.06	710.94 07.50	773.44 04.62	840.63 02.54
JÚPITER636	(Hz) (rayl)	56.25 01.18	112.5 28.91	171.88 22.60	231.25 21.73	292.19 29.82	348.44 21.75	410.94 15.55	471.88 16.52	528.13 15.28	595.31 09.34	659.38 08.99	710.94 06.56	771.88 04.41	839.06 02.91
STOMVI-DYNAMIC	(Hz) (rayl)	53.13 02.54	114.06 26.05	173.44 19.48	231.25 20.25	293.75 24.99	348.44 23.36	407.81 18.35	465.63 20.33	528.13 16.33	593.75 09.17	654.69 08.24	709.38 07.37	768.75 05.14	837.5 03.49
P-BONE	(Hz) (rayl)	51.56 03.71	109.38 14.54	170.31 13.58	234.38 14.27	290.63 21.73	345.31 26.04	407.81 14.05	464.06 20.86	517.19 15.47	578.13 07.30	645.31 08.01	696.88 07.25	762.50 04.15	823.44 01.93

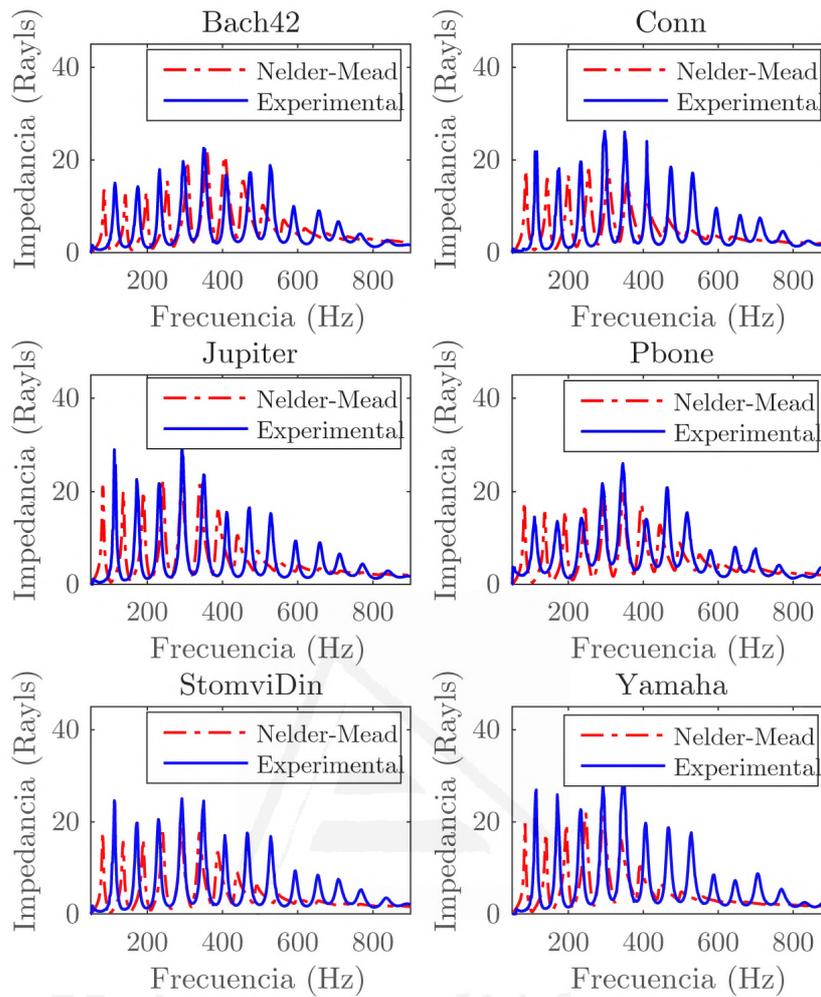


Figura 15: Curvas de impedancia para los diferentes trombones.

La siguiente octava comprendida en el intervalo Bb_3 - Bb_4 , es sin lugar a duda el rango de frecuencias en el cual los cambios más importantes en la impedancia pueden ser identificados. Los trombones Yamaha y Jupiter son los que presentan unas resonancias más energéticas en esta zona del espectro y también proporcionan un timbre más claro debido a la radiación de la campana. Hay que destacar en esta zona la similitud entre el P-Bone y el Bach42. Hay que aclarar que, en este caso, se detectó un defecto en el trombón Bach42. Este problema con el instrumento se identificó a posteriori ya que era casi imperceptible de forma visual. El origen del problema fue derivado de una limpieza con ultrasonidos del instrumento previa a la sesión de medidas. Respecto a los trombones Conn 88H y Stomvi Dynamic podemos afirmar que su comportamiento es homogéneo y similar en ambos casos.

Los parámetros obtenidos en el proceso de optimización nos arrojan los siguientes valores óptimos para los diferentes trombones se muestran en la Tabla 2. De estos resultados se pueden también extraer una serie de conclusiones. En primer lugar, hay que destacar que los parámetros de la campana z_0 y γ son similares a los obtenidos en la literatura (Fletcher y

Rossing, 1998). Del resto de parámetros podemos identificar una correlación del parámetro V con la satisfacción percibida por los especialistas (véase Figura 18). Esto permite afirmar que el modelizar de forma correcta el efecto de la boquilla es de vital importancia, ya que en este caso es un parámetro vital para la optimización.

Tabla 2: Resultados de la optimización con Nelder-Mead.

	Bach42	Conn 88H	Jupiter 363	P- Bone	Stomvi Dynamic	Yamaha YSL 354
L_1 (m)	2.41	2.40	2.58	2.52	2.47	2.26
V (ml)	10.87	14.33	13.03	10.13	13.53	14.30
S_c (mm ²)	3.03	2,60	3.40	2.92	3.25	2.32
l_c (mm)	8.46	11.72	13.54	12.47	14.09	9.00
R (mRayls)	241.22	61.66	224.77	202.85	183.76	188.06
$b \times 10^{-3}$	5.18	4.50	3.78	4.04	4.66	6.03
z_{\max} (cm)	55.46	44.15	36.56	46.93	53.39	64.85
z_0 (mm)	9.17	6.96	5.89	9.69	13.10	8.85
γ	0.61	0.66	0.66	0.69	0.75	0.67

A partir de los resultados de la Figura 15 se pueden percibir diferencias sustanciales entre los resultados de la optimización y los obtenidos experimentalmente. Las diferencias entre estas curvas pueden ser muy diversos y pueden estar vinculados a las limitaciones de las expresiones analíticas en las ecuaciones (2) y (6). Además, cabe destacar que dentro del instrumento se suceden numerosos procesos de carácter no lineal y pequeñas variaciones de las secciones del trombón debido a diferentes imperfecciones que pueden variar en gran medida la columna de aire y el patrón vibratorio del instrumento. Sin embargo, los resultados obtenidos de la optimización numérica arrojan una serie de parámetros que están correlacionados con los parámetros establecidos en la bibliografía como valores estándar para este tipo de instrumentos por lo que el proceso podría aceptarse en términos cualitativos más que cuantitativos.

Tal y como se ha comentado con anterioridad, el trombón Bach42 presentaba una fuga en el momento de realizar este procesado. Esta fuga era muy difícil de percibir por el intérprete y sólo se identificó por un técnico especializado que realizó un llenado de agua del instrumento para identificar fugas de este calibre. A raíz de este hallazgo se procedió a

reparar el instrumento y volver a realizar una tanda de medidas con su correspondiente optimización numérica. El impacto de la reparación del aerófono en las curvas de impedancia es significativo (véase Figura 16), ya que el Bach42 reparado presenta unas resonancias mucho más marcadas en amplitud. El efecto de esta reparación en los parámetros optimizados recae en el término de pérdidas R , el cual es el mayor (para el Bach42 defectuoso) de todos los instrumentos analizados. Una vez reparado el término de pérdidas R vuelve a los valores estándar obtenidos por el resto de los instrumentos estudiados. Las curvas de impedancia se muestran en la Figura 16. En la Tabla 3 se recogen los resultados de la optimización. En ambos casos se recogen los datos relacionados con el Bach42 antes y después de la reparación para comparar los resultados tanto experimentales como de optimización paramétrica.

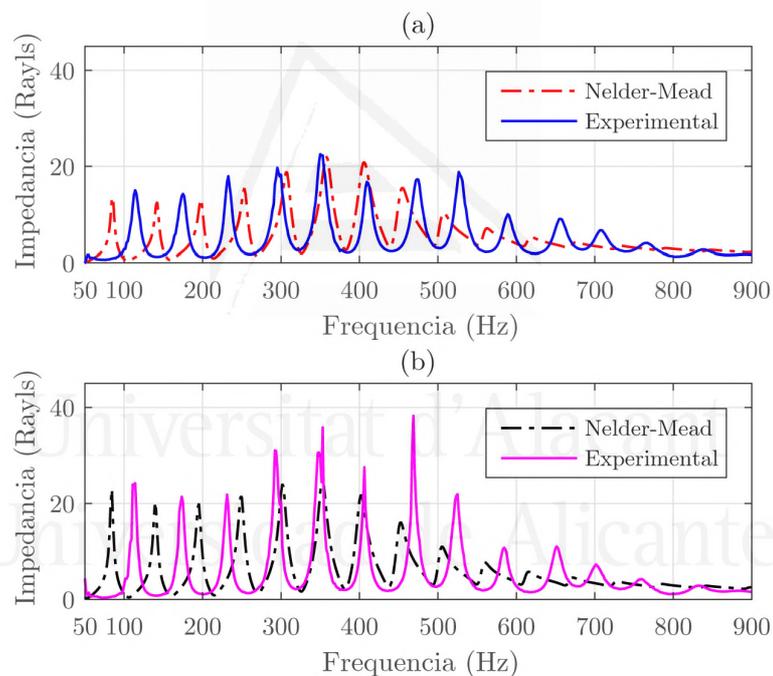


Figura 16: Curvas de impedancia para el trombón Bach42 antes (a) y después (b) de la reparación junto con la optimización con Nelder-Mead.

Por lo que, en conclusión, el proceso de optimización realizado a partir de las medidas experimentales y la formulación analítica si bien permite caracterizar los parámetros físicos de forma concreta, presenta la capacidad de poder comparar diferentes instrumentos. Si comparamos los datos de diferentes instrumentos podemos identificar de forma comparativa qué instrumento presenta un comportamiento más atractivo y como en el caso del Bach42, identificar fisuras o fallas en los instrumentos.

Tabla 3: Parámetros de la optimización antes y después de la reparación del trombón Bach42.

Bach42	L_1 (m)	V (ml)	S_c (mm ²)	l_c (mm)	R (mRayls)	$b \times 10^{-3}$	z_{max} (cm)	z_0 (mm)	γ
Fuga	2.41	10.87	3.03	8.46	241.22	5.18	55.46	9.17	0.61
Reparado	2.40	13.33	3.10	10.00	159.30	5.22	52.83	12.83	0.69

2.4 Impedancia: Evaluación de la calidad sonora

Obtener un sistema que evalúe la calidad del sonido es uno de los objetivos de la presente investigación, tal y como se ha citado anteriormente. Poder evaluar objetivamente la calidad sonora de los diferentes instrumentos, no sólo nos da información sobre el rango de máxima y mínima resonancia, información que deberían tener todos los instrumentos como norma, sino que, además, permite detectar los errores de construcción o anomalías derivadas del uso diario de los instrumentos.

Obviamente, la información que ofrece esta herramienta nos es de gran utilidad para controlar el estado de conservación de los instrumentos que disponemos en el aula.

Dicho esto, como consecuencia del análisis comparativo del P-Bone con otros instrumentos de diferentes calidades, análisis que se ha presentado en el apartado 2.3.1. Se evidenció que un trombón de alta gama presentaba anomalías en los resultados si era comparado con otros modelos en relación con su calidad precio.

Gracias a este método de evaluación se pudo subsanar el instrumento y ayudar al instrumentista. El instrumento es fácil de reparar una vez se detecta la microfuga y se suelda con un material resistente. La parte relativa al intérprete también se mejora, especialmente, el estado mental con el que un músico aborda la práctica diaria cuando el instrumento no responde a sus expectativas por culpa de una microfuga indetectable de forma inmediata. Parece evidente pensar que, si algo no funciona, se nota o se debe percibir, el problema es cuando los controles ordinarios no detectan ningún problema, la lesión que sufre el instrumento es muy sutil y afecta levemente al instrumento. Llegado a este punto los errores en la emisión sonora se los atribuye el intérprete a sí mismo y no al instrumento. De ello hablaremos seguidamente con la evaluación de la calidad sonora del trombón Bach 42.

El contenido principal de la información relativa al proceso de evaluación de la calidad sonora, detección de errores y reparación, se presenta en: “Investigando las anomalías de un trombón de varas de alta gama en su respuesta en impedancia y en los

resultados de un estudio perceptual”. Dicho artículo se presentó en el Congreso ibérico de acústica Euroregio 2016 – (Porto) Portugal (Esteve-Rico, 2016a).

2.4.1 Investigando las anomalías de un trombón de varas de alta gama en su respuesta en impedancia y en los resultados de un estudio perceptual

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

2.4.1.1 Introducción

En un trabajo anterior, Esteve-Rico y Vera (2015b), se compararon las cualidades sonoras tanto desde el punto de vista subjetivo como objetivo de un conjunto de trombones de metal frente al *Pbone* y se comprobó que existía cierta correlación entre los resultados dados por el espectro de la respuesta en impedancia y los obtenidos en una audición a ciegas. En ese se analiza el comportamiento y la diferencia entre un trombón de plástico y otros tradicionales. A partir de este análisis se detectó que un trombón de alta gama (Bach42 con transpositor Haggmann) presentaba unos resultados anómalos, puesto que no se correspondían a la calidad que se le presupone a un instrumento de esas prestaciones; ni en el ranking de opinión, ni en su curva de impedancia.

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

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

2.4.1.2 *Material*

A continuación, se muestra un análisis que se recoge en Esteve-Rico y Vera (2015b). Si escogemos como ejemplo el trombón de gama media tal como el Yamaha YSL354 es Bb y lo comparamos con el trombón problema Bach 42- Hagmann Bb/F - Yellow Brass, obtenemos la respuesta en frecuencia de la impedancia mostrada en la Figura 17:

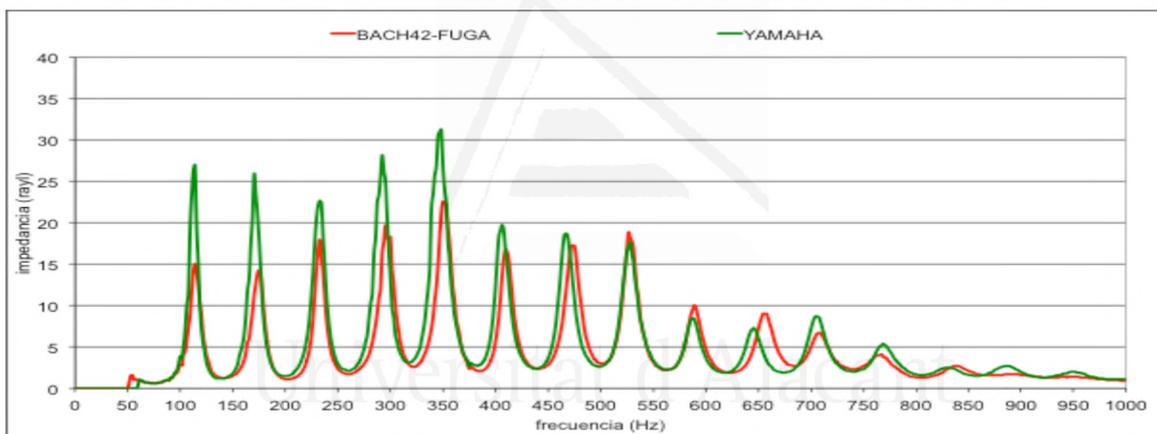


Figura 17: Espectro de la respuesta en frecuencia de la impedancia del Bach42 antes de la reparación y del Yamaha YSL354.

El trombón al ser un filtro de paso alto empieza a responder por encima de los 60 Hz; por lo que la nota pedal Bb₁ apenas se aprecia en cualquiera de los modelos que hemos estudiado.

Para el resto de las componentes de la serie armónica fundamental Bb₂, F₃, Bb₃, que cubren el rango entre los 100 Hz y los 250 Hz del registro se puede observar con claridad como la respuesta del Bach 42 es de menor intensidad.

Ocurre lo mismo para las notas D₄, F₄, Ab₄ que suele ser la zona más explosiva (de 250 Hz a 450 Hz). Es en este rango, especialmente, es donde se hace evidente que el trombón Bach42 no funciona correctamente.

Finalmente, las respuestas de ambos son del mismo nivel en las frecuencias agudas (de 450 Hz a 850 Hz) que son las que otorgan el timbre característico al sonido del

instrumento; esto es desde Bb₄ hasta Ab₅. Donde a partir de G₅ (≈800 Hz) deja de responder paulatinamente el instrumento, esto es debido, como ya sabemos, a que en el registro sobreagudo el trombón por su idiosincrasia deja de oponer resistencia al paso del aire progresivamente.



Figura 18: Resultados de la audición acústica.

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

Para el análisis perceptual, y por tanto subjetivo, se solicitó la intervención de un trombonista. Se realizó una audición a ciegas, ejecutando el mismo intérprete las grabaciones que componían el test en la audición para los distintos trombones tal y como se ha citado en Esteve-Rico y Vera (2015a). Los resultados se muestran en la Figura 18.

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

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

2.4.1.3 Método

Para analizar cualquier conflicto relacionado con el sonido, se partía de las ideas expuestas por Weber (s.f.) el cual argumenta que cada músico tiene un sonido característico.

Es como el fenómeno de la voz, por el que se le reconoce sin necesidad de contacto visual, y esto no es debido al metal, si no a las características fisiológicas propias y a las cualidades de cada instrumento en particular. Los instrumentos de viento metal son columnas de aire vibrantes, por tanto:

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

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

- La primera de ellas es referente a la vibración que excita la columna del aire ¿Es de suficiente calidad? Factor que depende de la embocadura o de los condicionantes de la boquilla.
- La segunda se puede asociar con factores debidos al uso, como: suciedad acumulada, rotura del corcho que tapona la llave del drenaje del agua, soldaduras incorrectamente ejecutadas y en consecuencia aparición, con el tiempo, de fugas de aire, golpes... y deterioro en general debido a un mal uso o mantenimiento inadecuado del instrumento.
- La tercera, de reciente actualidad, aunque se podría incluir en la anterior, son las consecuencias, todavía no documentadas, de la limpieza de instrumentos musicales con ultrasonidos. Existe un debate importante que está generando tanto partidarios como detractores.³¹
- Además de estos tres factores existe otro ámbito, el de la energía aportada por radiación del metal, que también condiciona la calidad sonora y que es oportuno mencionar para no dejar de lado alguna de las cosas que pueden tener importancia en la calidad sonora final de este instrumento. Siguiendo con el discurso de Weber (s.f).
- El material no cambia el timbre del sonido (aunque parece acentuar las frecuencias altas). La zona del instrumento que radia el sonido se encuentra, aproximadamente, en la parte final de la campana.
- *"La Deformación elástica de la pared de metal, que es proporcional a la presión sonora oscilante dentro del instrumento, podría proporcionar una explicación*

³¹ Trompete forum (2017). Limpieza de instrumentos con ultrasonidos. Recuperado de: <http://www.trompeteforum.de/TF/search.php?Keywords=Ultraschall>.

de los cambios observados en la impedancia de entrada y los cambios en las funciones de transferencia”.

- La columna de aire hace entrar en vibración al metal que la contiene, especialmente en la parte cónica la campana, por tanto, se puede afirmar que la radiación sonora de la campana forma parte del sonido en la interpretación. Las paredes del resto del instrumento solo tienen relación con la formación del sonido no con su radiación.

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

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

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

O bien, la segunda posibilidad: problemas de suciedad acumulada y/o problemas de oxidación que descartábamos pues el instrumento acababa de ser sometido a una sesión de limpieza por ultrasonidos.

Por último, nos resta el problema de fugas o micro-fugas por la aparición de poros en las soldaduras o en los drenajes de las válvulas de agua. Este último caso también se desestimó: dado que no existía ni un leve goteo por el tapón del agua durante la práctica diaria, ni tampoco se apreciaba ningún cambio de presión: que se comprueba de forma rutinaria con el sencillo ejercicio en el que se extrae la vara exterior mientras que con el dedo índice se presiona una salida mientras se sopla por la otra, de esta forma se crea una presión en el instrumento que en caso de no tener fuga debe de contener, como sucedía en este caso.

Por todo lo anterior, tras realizar un concienzudo análisis, repasar los puntos débiles anteriormente mencionados y volver a medir la respuesta en impedancia que se mantuvo

estable en sus valores anteriores, se decidió llevar al instrumento a un lutier especializado en el que utilizan el mismo principio de revisión rutinaria de presión del aire, pero, esta vez, llenando la vara de agua. Se pudo detectar una leve pérdida por la soldadura de la llave del agua.

- Las causas que pueden llevar a la formación de esta micro-rotura o poro en la soldadura de la válvula que drena el agua son:
- Leves golpes en la curvatura en forma de “U” en la vara exterior y que une las varas paralelas.

La limpieza con ultrasonidos a la que fue expuesto el instrumento poco antes del análisis de éste en el laboratorio.

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

Se puede realizar una visita por las distintas páginas web de las empresas que ofrecen este servicio al mundo de la música donde aparte de las bondades y parabienes, con las que se acompaña su publicidad mercantilista, no existe ninguna referencia de controles de calidad ni de información técnica seria sobre qué químicos se usan, ni de los tiempos de los baños, ni de la intensidad y rango frecuencial de la irradiación por ultrasonidos; datos que consideramos necesarios para no encontrarnos en una situación muy desfavorable de desinformación³². Además, teniendo en cuenta que en realidad el instrumento es una continuación de nuestro propio ser como músicos interpretes, o si tomamos en consideración otros valores inapreciables, como la antigüedad de los instrumentos o la calidad de las soldaduras de los mimos, ¿Es posible que involuntariamente los ultrasonidos puedan provocar daños irreversibles? Evidentemente, solucionar los tiempos de baño con ultrasonidos o los condicionantes, no es lo que se está valorando en este artículo, pero es una reflexión necesaria que todo técnico instrumental y músico debería plantearse.

³² Ultrasónico SAS (2012). Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=oVsPxzdJUVE>. Greentechnologies (2016). Recuperado de: <http://www.greentechno.es/instrumentos-musicales-las-piezas-mas-delicadas-se-quedan-fuera/>

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

2.4.1.4 Resultados

Se puede observar, en la Figura 19, que existen grandes diferencias al representar los resultados del antes (en rojo) y el después de la reparación (en azul). Lo que viene a constatar que el análisis que se hace con el tubo de impedancia valida de alguna forma la calidad del instrumento y que cualquier desviación significativa conlleva un posible fallo en la construcción o la presencia de algún defecto, aunque este sea pequeño. Vemos que el trombón Bach42 presenta la respuesta en frecuencias que se suponía debe tener, en la zona que se le esperaba, es decir: entre el Fa3 y el Sib4, además las impedancias se acercan a los 40 Rayl lo que le coloca en el rango que le corresponde de calidad musical.

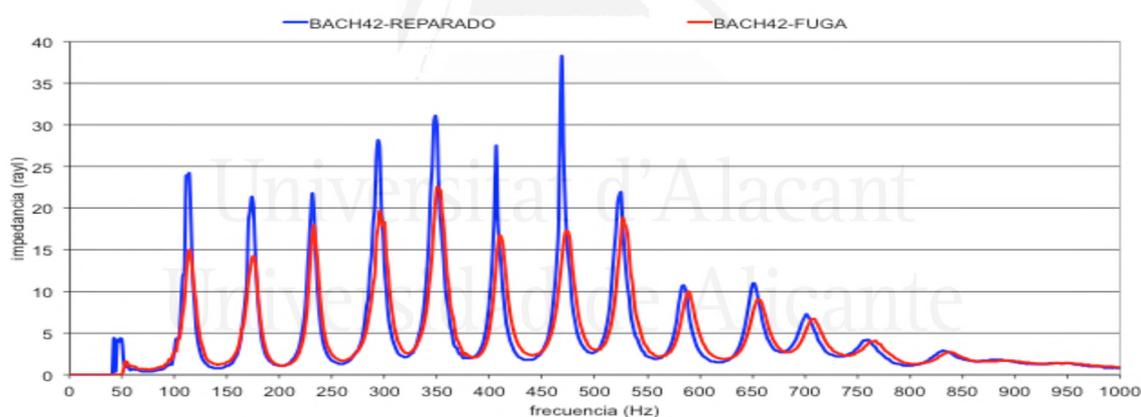


Figura 19: Comparativa del trombón Bach 42 antes de ser reparado (rojo) y después (Azul).

A modo de curiosidad se muestra una última gráfica, Figura 20, donde mostramos el mejor de los resultados obtenidos para el grupo de trombones analizados en la Figura 19 junto con el que se obtiene del Bach 42 una vez reparado, para así hacernos una idea de cuánto significa el salto encontrado en calidad.

Tal y como ya hemos dicho en otros trabajos Esteve-Rico y Vera (2015a) y Esteve-Rico y Vera (2015b) existe una parte o zona de frecuencias neutra para la respuesta en impedancia, dicho esto en el sentido de que en todos los trombones estudiados: sean de metal, plástico; estén equipados con transpositor o no; se les haya añadido masas dinámicas

o dispositivos armónicos como los “*Clapper*” de Stomvi; un poco antes de alcanzar los 600 Hz y a partir de ahí tienen una respuesta similar que podíamos llamar neutra o estable. Ninguna circunstancia de construcción ni de acabados ni de accesorios parece afectar a la impedancia tanto en forma como en intensidad, al menos con este procedimiento de control que usa una excitación sinusoidal aleatoria de ruido de amplio espectro. Puede que los resultados fueran otros, en esta zona, si la excitación fuera por vibración de los labios en la boquilla lo que pondría en juego la parte estructural y otros fenómenos dinámicos en el volumen de aire contenido en el instrumento.

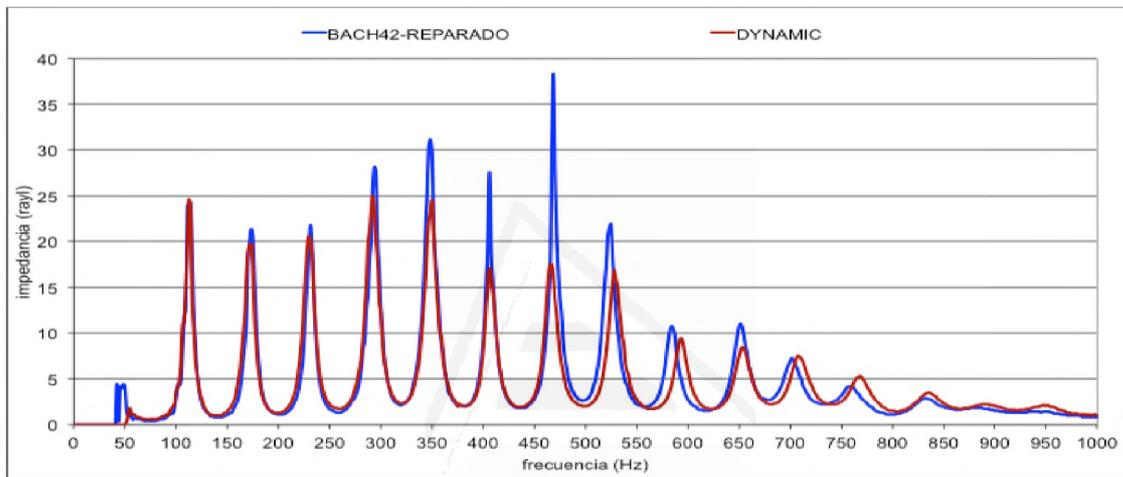


Figura 20: Comparativa Bach reparado con los resultados obtenidos en la Figura 19 (trombón Stomvi).

Lo que en este artículo se puede comprobar es que en esta zona neutra del espectro del trombón la respuesta tanto si existía fuga como si no el resultado ha sido similar. Lo cual demuestra que, en el registro sobreagudo, Re5 y siguientes, parece que el trombón no influye especialmente en la ejecución de las notas ya que estas se producen con mayor o menor calidad en función del intérprete. Como ya se apuntó en su momento esto es debido a la falta de resistencia (ausencia de variación de la impedancia) que existe para dichas frecuencias en el paso del aire confinado a aire a presión atmosférica lo que provoca una ausencia de reflexiones en la frontera aérea del final del instrumento. Dichas reflexiones son muy importantes, esenciales para controlar junto con los labios la columna del aire. Este requisito se pierde en las notas sobreagudas o extremas (fuera de la frecuencia de corte, en la zona neutra y más allá) puesto que no hay reflexión de onda o muy poca. Existen otros autores que hablan al respecto, como Pierce (1985) o Martínez-Miralles (1987), los cuales afirman que al acercarnos a la frecuencia de corte; las impedancias empiezan a uniformizarse dado que el instrumento deja de oponer resistencia al paso del flujo del aire. Es en este punto

donde se producen los armónicos responsables del timbre característico del instrumento. Fuera de la frecuencia de corte sobregada los trombones no muestran grandes diferencias entre sí con excepción de algunos picos.

Por otro lado, en la zona de máxima respuesta del instrumento, entre Re3 y Sib4, existen unas diferencias muy importantes que reafirman la importancia de la columna del aire vibrante para poder excitar el metal que la contiene. A mayor impedancia del instrumento por el paso del aire, mejores sensaciones tendrán el intérprete, lo cual se traduce en mayor facilidad para la interpretación y mayor calidad sonora.

Se puede afirmar con rotundidad que el tono Sib4 es el que más diferencia encuentra en el modo en el que la columna del aire es capaz de excitar al instrumento. Por el contrario, la nota más perjudicada, corresponde a la fundamental en posición cerrada Sib1, puesto que el trombón no ha sido capaz de amplificarla ni responder sobre las frecuencias cercanas a 58 Hz, aunque los labios sí que encuentren facilidad en producir esa excitación.

2.4.1.5 Conclusiones

El análisis de impedancias se postula como un método eficaz y muy preciso para detectar anomalías en el instrumento, y que resultan difíciles de diagnosticar con el mantenimiento y comprobación cotidiana. Esta es, sin duda, una herramienta aconsejable para todos los establecimientos especializados en música dado que otorga confianza tanto a los constructores como a los clientes. Por tanto, el análisis de impedancias se propone como un MND para el estudio de los instrumentos de viento.

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

2.5 La impedancia: Evaluación de la calidad sonora. El material de construcción

El siguiente objetivo de investigación es estudiar la importancia del material de construcción. Este, forma parte de nuestro objetivo de tesis y tiene la finalidad de obtener la información necesaria para utilizarla razonadamente en el aula de viento metal. En la actualidad, hablar del material de construcción en los instrumentos de viento metal tiene connotaciones de gran subjetividad casi mitificadas dada la propia idiosincrasia de los

músicos. Aunque esto no debería ser así puesto que existe literatura específica que estudia y dilucida la importancia del material de construcción y que ya adelantamos que se establece como escasa o ninguna según los autores. Hablaremos de ellos más adelante cuando se presente el artículo. Se desconocen los motivos por los que el conocimiento acústico no ha arraigado en el ámbito musical, y tal vez esta desconexión tenga su origen en la falta de programación de acústica musical en el currículo docente desde las enseñanzas profesionales de música.

Sea cual sea el motivo, la cuestión es que actualmente al adquirir un nuevo instrumento le damos más valor al material de construcción que a las diferentes variables de peso y diámetro. Además, hay que añadir que es más fácil encontrar el mismo instrumento construido con diferentes materiales que el mismo instrumento donde se nos oferten otras posibilidades quizás de mayor repercusión como pueden ser espesor de sus paredes, diámetro de la tubería o forma de la campana. Eso sin contar las diferentes opciones de resistencia que existen en codos y bombas de afinación abiertas o cerradas.

La consecuencia que tiene para los instrumentistas la dificultad de probar instrumentos con diferentes opciones de construcción (resistencias, peso y diámetro) ofertados sólo por las grandes marcas, y junto con la mayor oferta y disponibilidad de probar el mismo instrumento construido con diferentes materiales es valorar equívocamente al material de construcción.

La siguiente investigación es presentada en la siguiente sección y en ella se analizan dos trompetas idénticas dentro de lo posible, aunque sabemos que esto es irreal, construidas con diferentes materiales, tal y como veremos seguidamente. El objetivo de esta investigación es comprobar la influencia de las distintas aleaciones utilizadas en la calidad de su sonido y utilizar esta información en el aula de viento metal para que nos sirva como argumento objetivo.

Seguidamente, la influencia del material de construcción en la calidad del sonido se desarrolla mostrando el contenido principal del artículo: “Relación del espectro armónico con el material de construcción para la trompeta Máster Sib.” Este fue presentado el Congreso Nacional de Acústica celebrado por la Sociedad Española de Acústica (SEA) en A Coruña-2017 (Esteve-Rico y Vera, 2017b).

2.5.1 Relación del espectro armónico con el material de construcción para la trompeta Máster Sib

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

2.5.1.1 Introducción

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

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

Es por ello por lo que los constructores se afanan en ofrecer distintos modelos de boquilla. O bien alteran el taladro del tudel, la geometría de la campana, proporcionan distintas formas en los cambios de dirección (codo recto, codo circular), o juegan con las proporciones de tubería cilíndrica frente a cónica, pero siempre manteniendo la longitud equivalente del instrumento. Aparte de estas modificaciones, para Sandborn (1997), existe otro campo cuyos resultados son mucho más sutiles. Son cambios que sin modificar la estructura preexistente del instrumento introducen la adición de masas dinámicas o ‘*Clappers*’ resonantes tema que es desarrollado por Esteve-Rico y Vera (2015a), y Esteve-Rico et al. (2016b). Y dejamos para el final la cuestión del material de construcción que es el tema sobre el que vamos a trabajar en este artículo. En particular estudiaremos el latón con la adición de plata y con la adición oro.

Antes de hablar sobre la influencia de estas aleaciones en el sonido de los instrumentos de metal, recordemos que: es una tradición secular para los artistas de este gremio considerar al material de construcción como piedra angular de la calidad del instrumento. Por otra parte, los constructores han conseguido con la oferta de diferentes

materiales sobre un mismo modelo tener un abanico de posibilidades que aparentemente palie problemas sonoros particulares y específicos de los músicos: adecuándose también a los gustos y modas (lacado, sin laca, plata, oro, cobre, latón, pulido, etc.).

Sin duda, la atribución de las bondades sonoras al uso de un material determinado en la construcción del instrumento es una cuestión no completamente resuelta hoy en día. En el mundo de la acústica científica se mantiene un discurso con cierta polémica Whitehouse (2003) pero esta cuestión donde sigue viva de forma virulenta es en el terreno de los propios músicos. La razón puede ser quizás porque los resultados y opiniones que se han ido vertiendo desde los investigadores no han traspasado la frontera y no se han filtrado de forma natural en el ambiente de los intérpretes y constructores. Podemos aventurar que la Acústica científica (académica) es una carencia endémica en el bagaje de conocimientos de los músicos en general, lo que provoca una falta de quórum al respecto y disparidad de opiniones en cuestiones acústicas. Por otra parte, en ningún caso debemos dejar caer en saco roto las interpretaciones hechas desde el punto de vista de los músicos, puesto que se debe reconocer, según Bertsch (2003), que: una propiedad específica del sonido detectada por un oyente no es necesariamente medible, y el resultado de una medida de un experimento acústico no es necesariamente audible.

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

2.5.1.2 *Estado del arte*

Es innegable que el tipo de metal tiene un gran atractivo para los músicos/interpretes y los constructores. Como ya hemos apuntado existen grandes prejuicios alimentados por la tradición y en cierta manera por las modas o influencias ejercidas por tal o cual intérprete de reconocido prestigio en su época. Por este motivo y con el afán de objetivar se ha ido produciendo gran cantidad de literatura específica en el campo de la acústica musical de carácter científico, que pretende aportar conocimiento experimental sin tomar partido por este o aquel material de construcción. Podríamos ubicar el inicio de los estudios sobre

materiales de fabricación en instrumentos de viento en los albores del siglo XX donde destacan entre otros los trabajos de Lottermoser (1937) sobre los tubos de órgano y que discurre durante las páginas 129-134.

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

Para conocer la genealogía de los distintos trabajos realizados es aconsejable consultar las tesis de Whitehouse (2003) y sobre todo la de Brackett (2011) que recoge y amplía lo sucedido hasta una época más actual en donde podemos marcar como un hito incontestable los resultados obtenidos por Nachtmann, Kausel y Mayer (2007) y otros donde se demuestra que la influencia de las vibraciones de las paredes son distinguibles en contra de lo relatado por Gautier et al. (2013) Este hecho abre el camino de una posible influencia del material de construcción en función de su índice de amortiguamiento que es lo que se deduce del estudio de un material en vibración libre frente al mismo sobre-amortiguado externamente (Nachtmann et al., 2007).

Según Watkinson y Brousher (1982) y Pyle (1981), ¿será suficiente la diferencia de amortiguamiento entre dos materiales (por ejemplo: latón dorado “vs” latón plateado) para que se produzcan sonidos que se puedan juzgar como distintos por un oyente lejano?

A modo de reflexión y resumen de todo lo sucedido en el camino de estudio del fenómeno que nos atañe, aparte del tipo de material usado para la construcción del instrumento, podemos decir que las variables a conjugar son dispares: desde la influencia del tamaño, forma de la boquilla, diámetro del taladro del tudel y su relación con la amplitud de vibración inducida en la campana (Moore et al., 2005, Moore 2006). Hasta el valor de las constantes elásticas de los distintos materiales, recogido por Picó, Gautier y Redondo

(2007b), la no perfecta simetría circular de la sección transversal de la campana, recogido por Hoekje y Morrison (1999), además de Picó y Gautier (2007a) el espesor y su uniformidad, la forma de la sección longitudinal de la campana y la relación del truncamiento del cono frente al diámetro del enlace con la sección cilíndrica del cuerpo, recogido por Fletcher y Rossing. (1998).

Otra cuestión a tener en cuenta es el efecto de coincidencia espacial que corresponde a la condición de adaptación entre el perfil acústico y los modos estructurales, Morrison (1997). Si estos dos fenómenos ocurren al mismo tiempo, el efecto de vibración se realza y las resonancias acústicas y las anti-resonancias del tubo pueden ser significativamente alteradas, tal y como afirman Picó et al. (2007a), Whitehouse, Sharp y Harrop (2002) y Whitehouse (2003).

Para Lawson y Lawson (1985) y Hoekje, Payne y Kjar (1993), también se debería tener en cuenta el factor humano, ya que el intérprete puede que sea capaz de encontrar apoyos o respuestas del instrumento, no detectables por un receptor alejado, ya sea por causas de retroalimentación vibro-acústica a través de la boquilla, por la mano que está en contacto directo o por vía aérea. Para Smith (1986) y Knauss y Yeager (2007), el sonido radiado por la estructura es más débil (30 decibelios o menos) que el emitido en el frontal del instrumento, y por ello cabe la posibilidad que el músico pueda escuchar esa pequeña fracción de energía dada su cercanía y posición relativa a la campana

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

Con todo, no hay que olvidar que la principal característica que determina la calidad del sonido en los instrumentos de viento metal, según Agulló (1989) y Fréour et al. (2011), está definida por la columna del aire vibrante confinada en el interior de las paredes del instrumento, por la forma del instrumento y su boca o entrada (boquilla), junto con las características fisionómicas del intérprete: calidad de la fuente de vibración, musculatura peribucal, uso correcto de los resonadores intraorales y apertura glotal restringida, Kemp y Smith (2012). En definitiva y parafraseando a Weber (s.f.), el máximo exponente en el

timbre del sonido de los instrumentos de metal es definido por el aire vibrante confinado en el interior del instrumento.

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

2.5.1.3 *Material*

Para la realización y desarrollo del trabajo de campo la instrumentación utilizada se resume en los siguientes puntos y se muestra de forma gráfica en la Figura 21:

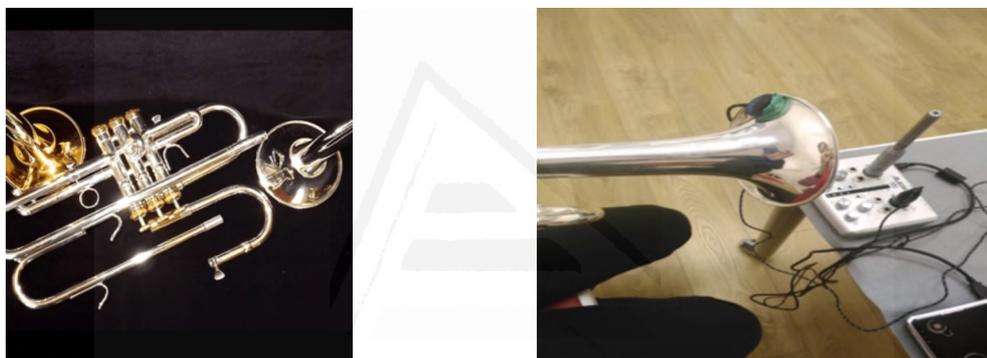


Figura 21: (Izquierda) Campanas y cuerpo de la trompeta. (Derecha) Disposición de medios de grabación: micrófono Behringer, y de contacto con el transductor Schertler Dyn Uni P48.

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

2.5.1.4 Método

Para abordar el análisis y sobre la posible influencia del material de construcción en el sonido hemos hecho una grabación simultánea aire-contacto, Figura 21.

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

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

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

2.5.1.4.1 Resultados

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

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

Mostramos, Figura 22, el caso de Sib3 como ejemplo de los resultados, donde en función de los máximos obtenidos podríamos suponer que de alguna manera la campana de

oro debería favorecer al intérprete; el cual podría encontrar un apoyo que le ayudara a obtener mejor calidad sonora en el tono emitido en este caso.

Aunque resulte contradictorio, si tenemos en cuenta los parciales que obtenemos de la grabación aérea del mismo tono, Figura 23, se observa que no existen diferencias entre 'oro' y 'plata'. Por lo que las diferencias que inicialmente se encontraron para el transductor de contacto no se traducen en el sonido aéreo recibido.

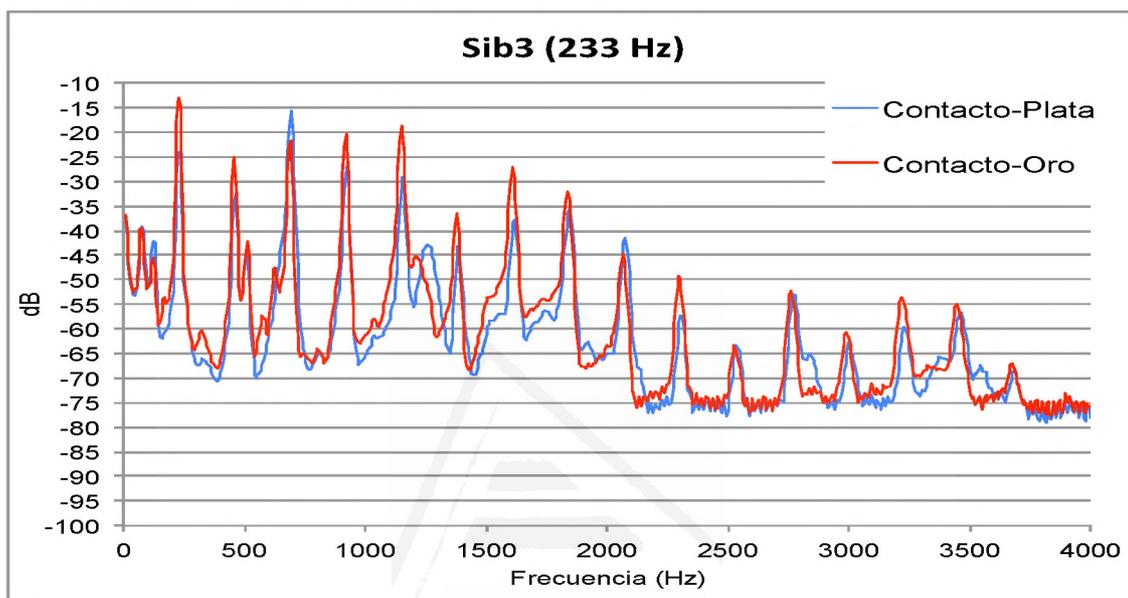


Figura 22: Espectro contacto para la nota Sib3 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).

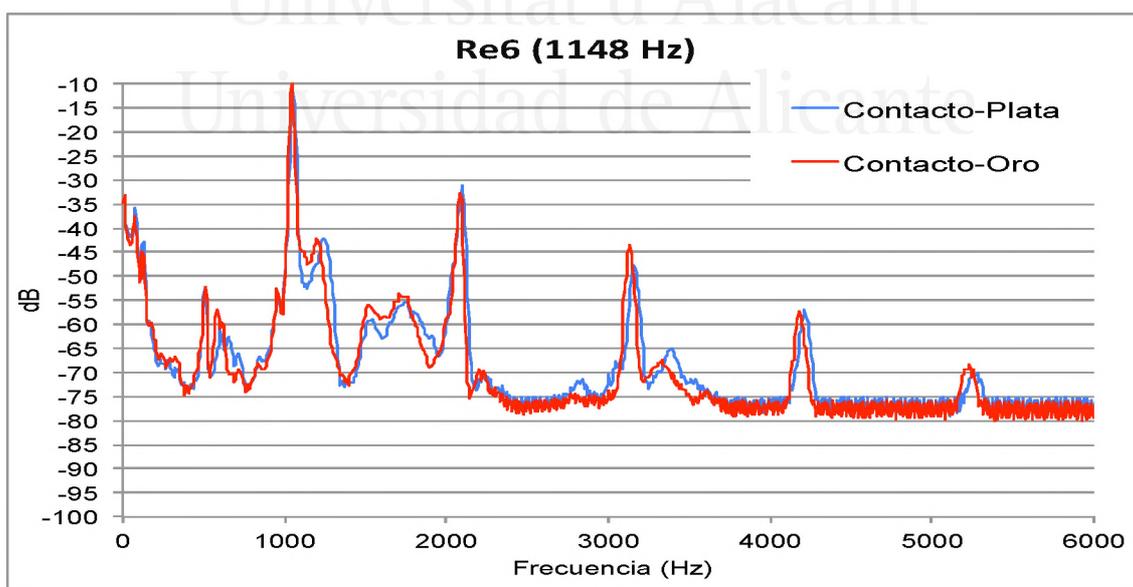


Figura 23: Espectro contacto para la nota Re6 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).

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

Para el tono Re6, que tomamos como representante en este caso, la respuesta para el transductor de contacto es muy parecida en ambos materiales, pero con una leve diferencia positiva para el ‘oro’ alrededor de los 3000 Hz, Figura 24.

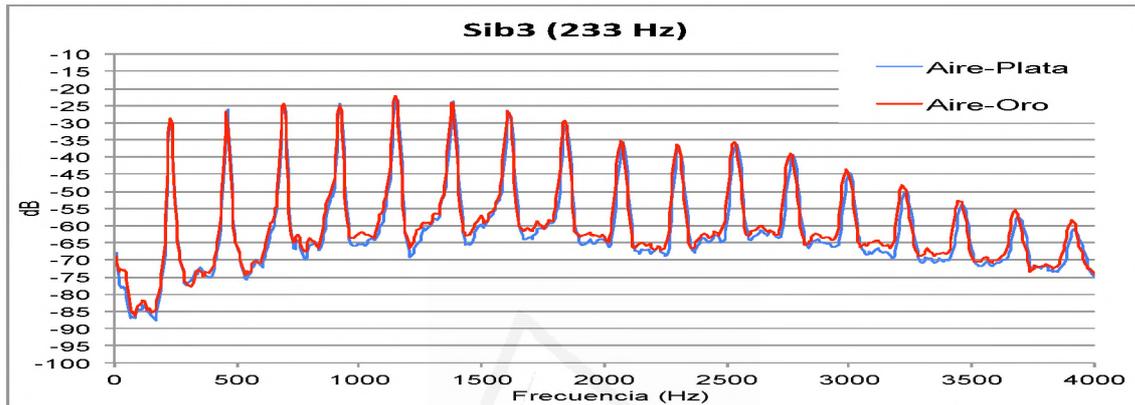


Figura 24: . Espectro aéreo para la nota Sib3 para los materiales ‘plata’ (azul) y ‘oro’ (rojo).

Lo más significativo es el desplazamiento relativo de los máximos para cada aleación que se da a partir de dicha frecuencia. Si tenemos en cuenta los máximos que obtenemos del micrófono, ver

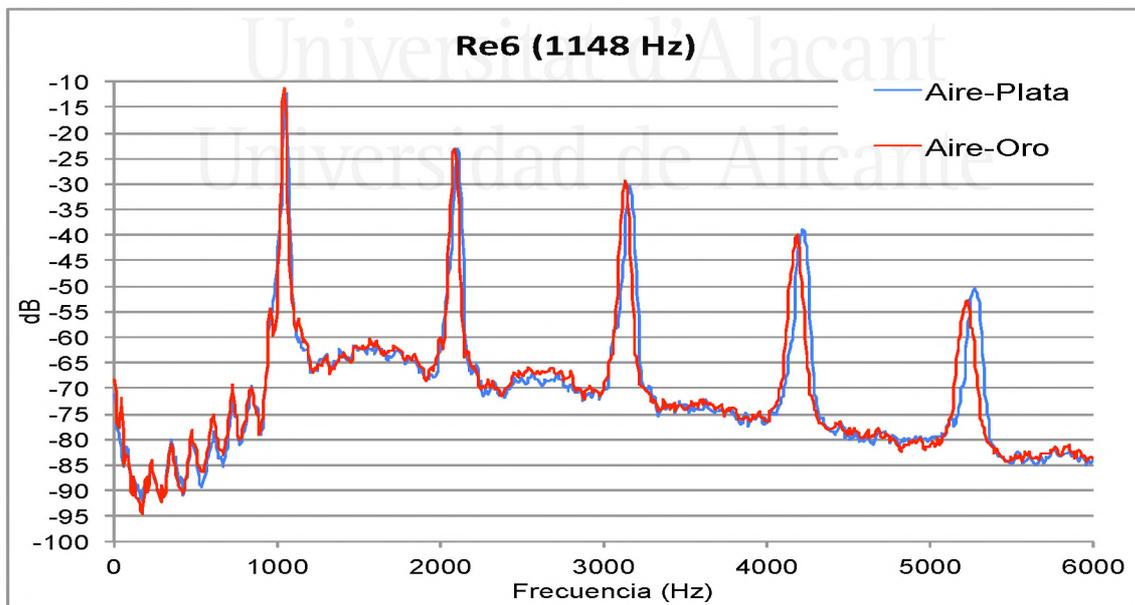


Figura 25: Espectro aéreo para la nota Re6 para los materiales ‘plata’ (azul) y ‘oro’ (rojo).

Figura 25, se observa que para estas notas existen leves diferencias, en la zona de desplazamiento relativo, a favor ahora para la campana plateada.

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

En las notas Re5, Fa5, Sib5, Do6, y Mib6 la respuesta del transductor de contacto es mayor para la campana de plata, tal y como se observa para Re5, en la Figura 26, que tomamos como muestra para este caso.

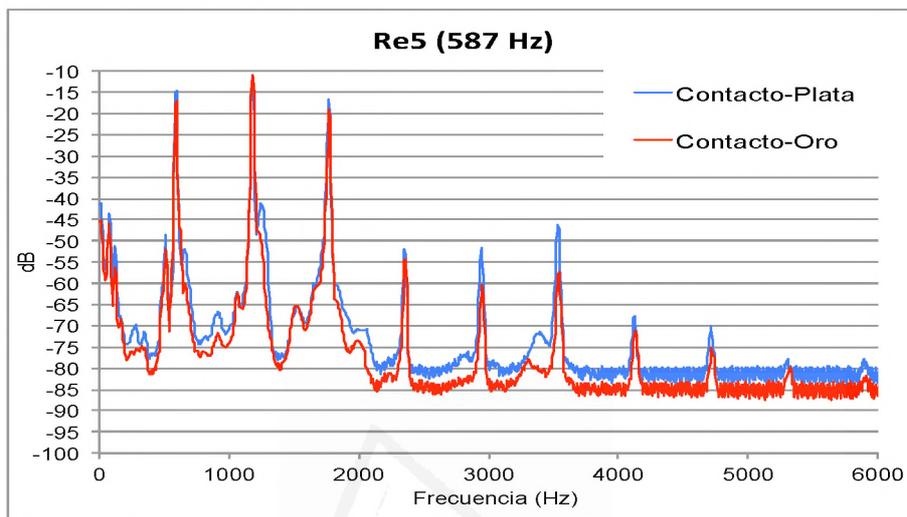


Figura 26: Espectro contacto para la nota Re5 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).

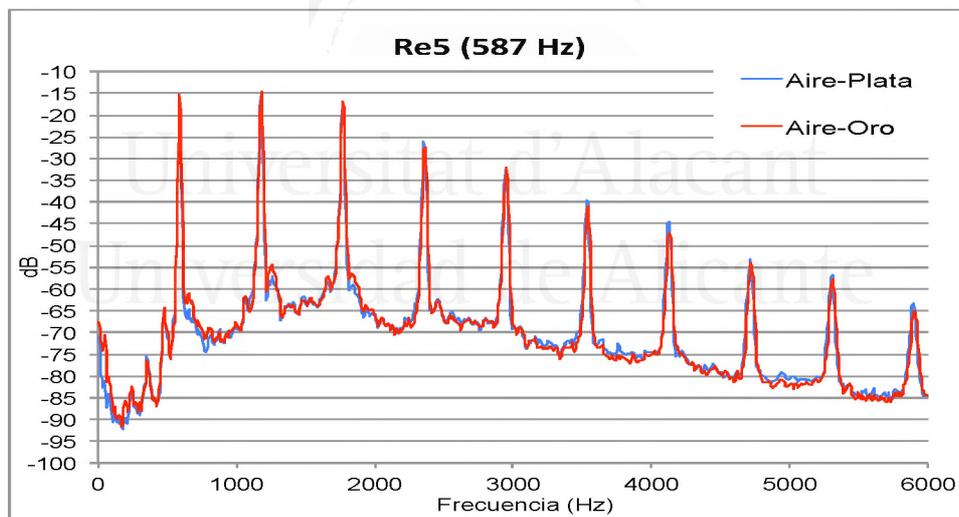


Figura 27: Espectro aéreo para la nota Re5 para los materiales 'plata' (azul) y 'oro' (rojo).

De nuevo a la vista del espectro aéreo, ver Figura 27, no se traduce ni refleja la diferencia favorable encontramos para el contacto en la plata.

2.5.1.4.5 *Tiempo de reverberación estructural*

Se ha realizado el registro de la caída temporal de la energía tras golpear ambas campanas, mientras estaban roscadas al cuerpo del instrumento. La excitación la producimos

golpeando las campanas con la baqueta percutora en cinco puntos diferentes a lo largo del eje longitudinal, y grabamos el resultado en cuatros puntos distribuidos radialmente en el quinto final de la campana. Se muestra, Figura 28, el valor promedio del tiempo de reverberación estructural resultante de las excitaciones, para cada campana.

El tiempo de reverberación estructural está asociado con el concepto de amortiguamiento o con lo que se suele conocer como el factor de pérdidas que se puede expresar tal y como se muestra en la siguiente relación empírica:

$$\eta = \frac{2,2}{T_r f_n}, \quad (10)$$

donde T_r es el tiempo de reverberación estructural del elemento y f_n es la frecuencia central de la banda n y η es el factor de pérdidas total del elemento estructural (del Rey et al., 2012).

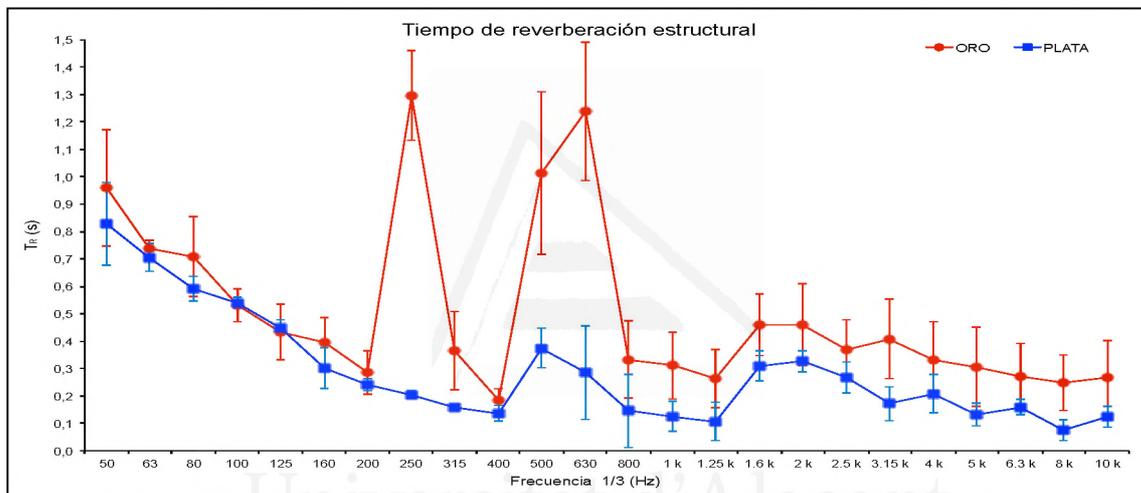


Figura 28: Tiempo de reverberación estructural para las campanas ‘plata’ (azul) y ‘oro’ (rojo).

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

2.5.1.4.6 Espectro en tercios de octava de frecuencia para la respuesta percusiva

Haciendo uso del mismo conjunto de registros que en apartado anterior, se encontró el espectro promedio para cada material. En este caso se ve claramente que las bandas excitadas principalmente son 250 Hz y 630 Hz en el ‘oro’ y 500 Hz en la ‘plata’. Cabe resaltar que mientras que en el tiempo de reverberación parecía claro que la banda de 500 Hz entraba a formar parte de la vibración para la plata, ahora no tiene relevancia. Quizás en el decaimiento temporal los tercios de octavas de 500 Hz y 630 Hz tuvieran cierta interdependencia modal, mientras que en el resultado del espectro global al desaparecer la

lectura temporal tan solo quedara destacado 630 Hz como vemos en la Figura 29. También cabe subrayar que en el caso de la campana plateada creemos que sólo cabe destacar el máximo de 500 Hz.

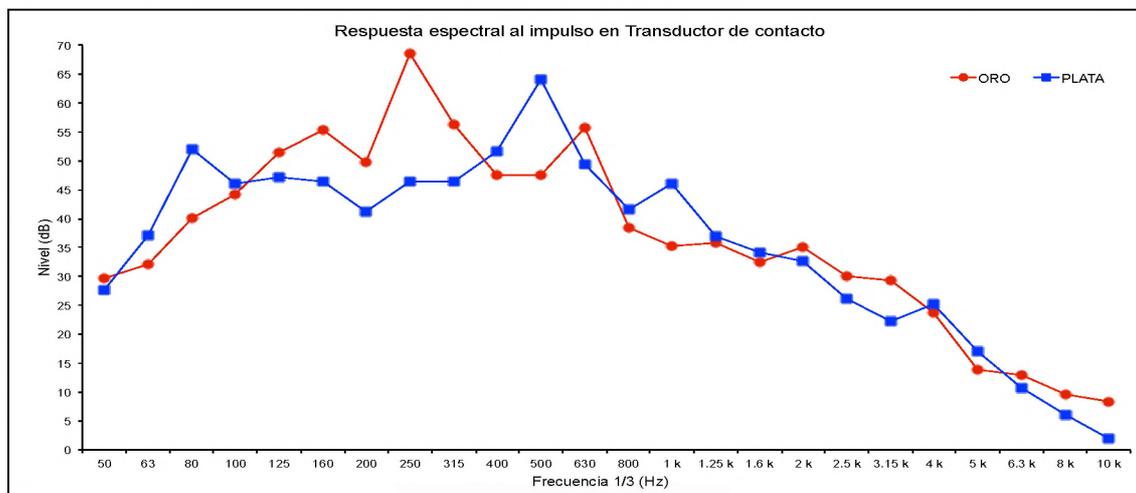


Figura 29: Espectro de la respuesta a percusión de las campanas ‘plata’ (azul) y ‘oro’ (rojo).

2.5.1.5 Conclusiones

El aporte de la vibración de la campana al sonido percibido por vía aérea en función del tipo de material elegido para su fabricación, y en particular estas dos aleaciones de latón-oro, latón-plata usados en la trompeta Máster Sib de Stomvi, es confuso puesto que, desde nuestro punto de vista, no existe relación alguna que sea relevante. También puede que dicha confusión resida en el procedimiento usado en esta experiencia, que quizás no sea el adecuado, característica que matizan Whitehouse et al. (2002) así como Bertsch (2003).

Tabla 4: Resumen de los resultados para las notas estudiadas en cada campana.

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

En la Tabla 4, mostramos un resumen general de los resultados obtenidos usando como representantes las notas que ya hemos mostrado en el apartado de resultados. Se puede destacar cierto desplazamiento en frecuencias que en principio se podrían atribuir al factor humano, pero pensamos que, si los resultados son el promedio de al menos una docena de interpretaciones de cada tono, esa desafinación que aparece en las frecuencias a partir de los 3000 Hz, no es anecdótica. Con respecto a la cuestión de las aparentes mejoras en las

grabaciones de contacto como no se ha encontrado su contrapartida en las grabaciones aéreas, no podemos extraer conclusiones particulares. Creemos que todo esto afianza la idea de que el aporte cromático de la vibración de la campana del instrumento es de muy baja intensidad acústica frente a la energía que recibimos de la vibración de la columna de aire como ya comentamos en Knauss y Yeager (2007) y Smith (1986). Pero también y a pesar de que nuestros resultados niegan influencia alguna entre metal y aire; se debe de tener en cuenta que los músicos dicen, en algunos casos, encontrarse más cómodos o marcan diferencias subjetivas que los decantan por uno u otro material, y es muy probable que dichas diferencias hagan que su interpretación pueda resultar de mejor calidad sonora y hasta se podría traducir en que los oyentes puedan apreciar esa diferencias en su ejecución, tal y como aprecian Hoekje et al. (1993), y Lawson y Lawson (1985).

Dejamos para el final la cuestión del amortiguamiento de la vibración de la campana. Tal y como hemos referenciado en Nachtmann et al. (2007), este tema es uno de los determinantes en el asunto que estamos discutiendo.

Los valores obtenidos para el tiempo de reverberación estructural para este par de campanas, Figura 28., indican claramente que sus coeficientes de amortiguamiento son elevados (tiempos de reverberación estructural bajos) y tan solo destacan un par de bandas en el caso del 'oro'.

Por otra parte, mostramos en la Figura 29. el espectro de respuesta al impulso percutido en bandas de tercio de octava, se puede encontrar una correlación clara con los resultados del tiempo de reverberación salvo para la banda de 500 Hz que desaparece para el oro, como subrayamos en el apartado precedente.

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

Algo similar podríamos decir de la situación en la que la 'plata' responde mejor, nota Re5-587 Hz, en este caso, aunque el 'oro' muestra un tiempo de reverberación relativamente alto, no es así en la respuesta en frecuencias en la banda de 500 Hz como ya hemos comentado, pero justo en esa banda es donde la plata muestra su máximo en frecuencias

para la respuesta al golpe. Y puede que sea por esta causa que la campana plateada se comporte mejor en dicha frecuencia en particular.

Podemos apuntar que el amortiguamiento que se puede deducir para este par de especímenes a partir del tiempo de reverberación estructural es a nuestro parecer muy elevado. Por lo que en este caso pensamos que será muy difícil encontrar, con evidencia fehaciente, influencias de la vibración de dichas campanas en el sonido aéreo percibido del instrumento por un oyente alejado, tal y como se ha visto en Pyle (1981), y Watkinson y Browsher (1982).

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

2.6 Impedancia: Evaluación de la calidad sonora. Las masas dinámicas

Continuando con la evaluación del sonido, el estudio que ahora realizamos se basa en conocer la función de las llamadas ‘masas dinámicas’ añadidas a la estructura exterior del instrumento. Desde hace unos años lo habitual en el trombón de varas era encontrarse con una masa que actuaba como contrapeso y facilita la manejabilidad del instrumento. De este principio se ha evolucionado en la actualidad a las masas añadidas a algunos aerófonos de metal y que se publicitan con una función acústica añadida.

Para ello, y especialmente en trombones, trompas y trompetas, se colocan en el cuerpo del instrumento, una serie de ‘masas dinámicas’ que estudiaremos en los dos siguientes artículos. Estas masas, también llamadas *Clappers* y *Maxiclappers*, ver Figura 30 (Derecha), según su marketing tienen la pretensión de mejorar la calidad del sonido y facilitar la homogeneidad sonora a lo largo de todo el registro.

Las masas dinámicas llegan al aula de viento metal de la mano la tecnología con la que construyen los nuevos instrumentos. En este tema, Henrich Thein (1947- ?), constructor de los instrumentos de viento metal con la firma Thein, ha desarrollado toda una investigación acústica para mejorar la calidad del sonido al insertar en la estructura del instrumento una pequeña masa lenticular justo en el punto donde se forman los vientos. Sobre este particular no incidiremos pues nos ha sido imposible evaluarlo.

Por otro lado, de la mano de la forma española Stomvi y de su constructor V. Honorato (1952- ?), al cual agradecemos toda su colaboración, se ha desarrollado una idea donde se involucra el uso de aditamentos exteriores al instrumento.

En un primer momento se presentan las masas dinámicas, las cuales se añaden a la estructura del instrumento, concretamente a la tapa transpositor y al tapón inferior en el sistema de válvulas y pistones.

En un segundo momento, el estudio de las masas dinámicas, por parte de Honorato, propició el desarrollo tecnológico de los *Maxiclappers*. Esta nueva herramienta que se añade a la estructura del instrumento, en una de las tuberías, no sólo tiene la función de la masa dinámica, sino que, además, intenta favorecer la calidad del sonido y sus armónicos superiores gracias a la vibración una campana, a modo de crótalo, insertada dentro de la masa dinámica.



Figura 30: (Izquierda) Tubo de impedancia desarrollado junto con el trombón y configuración de medida. (Derecha) *Imagen del Clapper.*

De la investigación realizada en la primera fase, se obtiene información muy útil y objetiva para el aula de viento metal. Lejos de favorecer el misticismo al igual que se venía contribuyendo con el material de construcción, el objetivo es facilitar información objetiva para que el alumnado disponga de información contrastada. Sólo de esta forma se podrá erradicar en nuestro gremio, todos los postulados teóricos subjetivos basados en sensaciones y creencias, es decir, en pseudociencia.

2.6.1 Primera fase: masas dinámicas y *Clappers*

La siguiente investigación corresponde a la primera parte del proyecto de las masas dinámicas o *Clappers*. Esta fue presentada en el Congreso Nacional celebrado por la Sociedad Española de Acústica (SEA) celebrado en la localidad de Valencia en 2015. A continuación, mostramos el contenido o parte principal del artículo: “estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un 'trombón de varas' en función de su espectro de impedancia acústica”.

2.6.1.1 *Estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un trombón de varas en función de su espectro de impedancia acústica*

Se contempla la posibilidad de modificar la impedancia del registro armónico del trombón dentro del rango de frecuencias (Sib2, Re4-Sib4) gracias al uso de tapones dinámicos que se enroscan en el transpositor para tapanlo. La finalidad de los tapones, también llamados *Clappers*, es influir sobre la homogeneidad del sonido en todo su registro armónico con una variedad de masas dinámicas y campanillas resonantes. El presente estudio analiza y sitúa la importancia de los *Clappers* dentro del sonido global del trombón en función a su espectro de impedancia acústica.

2.6.1.1.1 *Introducción*

Con el fin de alterar o mejorar el sonido del trombón de varas es usual, últimamente, actuar sobre los tapones que se roscan en el transpositor. La base teórica se encuentra en la dependencia que existe en la respuesta en frecuencias de un instrumento y la resistencia o impedancia a la vibración de este, que depende entre otras cosas de la masa del sistema vibrante. Justo es eso lo que el interprete músico valora durante la ejecución. También la respuesta en impedancia está relacionada con la calidad tonal que percibe el público.

Existe en el mercado, comercializado por la marca de trombones Stomvi un conjunto de estos tapones también llamados *Clappers* que ya sea por su masa o por el diseño geométrico de su volumen interno, alteran de forma positiva la respuesta del instrumento según la opinión subjetiva tanto del fabricante como de los usuarios.

El propósito general de este estudio es, de forma objetiva por métodos experimentales, constatar los efectos que producen el uso de los antedichos *Clappers* en el sonido del trombón.

Para ello, hemos planteado dos formas de abordar el problema. En primer lugar, se ha analizado la relación entre la masa con la que se sobrecarga el transpositor del trombón de varas y la influencia que esta ejerce sobre el espectro de impedancia del instrumento. En segundo lugar, se ha realizado, entre diez intérpretes profesionales de este instrumento, un pequeño muestreo de las opiniones sobre la calidad musical de unas grabaciones realizadas para cada ejemplo estudiado.

2.6.1.1.2 *Material y método*

Para la determinación de la respuesta en impedancia del trombón, se usa un tubo de impedancia en base a la normativa ISO10534-2:1998 (2002). Aparte de que debe tener las dimensiones transversales adecuadas y debido a que el rango de frecuencias de este instrumento se encuentra entre 50 y 1000 Hz aproximadamente, se tuvo que construir un modelo específico a medida del problema³³, al cual se le ha añadido un amplificador de potencia y una fuente de ruido *Briuel&kjær*, un motor de agudos *JBL* de 2", dos micrófonos *Grass 1/4"* con preamplificador y prepolarizados a 200V. Estos se desplazaban a lo largo de las del tubo de impedancia (se necesitó usar una combinación de 20 posiciones).

El sistema de adquisición de datos que se ha utilizado es *01db Symphonie con la suite dBFA32*, mientras que para el post procesado se ha recurrido a los programas *Software Acupro* y *Microsoft Excel*.

Se ha determinado con precisión para no influir en la repetibilidad de los resultados: posición del instrumento, bombas de afinación, tuberías sin agua ni suciedad, la temperatura del aire³⁴ y a que nada obstaculizara ni reflejara la salida del sonido por la campana. Para llevar a cabo las grabaciones de audio se utilizó un torso binaural de *Head Acoustic* usando su salida digital y la tarjeta de adquisición *SoundBlaster-Audigy* y unos auriculares, *Sennheiser HD-380 Pro*, para la audición.

Las medidas se han realizado en la cámara de silencio³⁵ del laboratorio de acústica de la Escuela Politécnica de la Universidad de Alicante.

Se dispuso de un trombón *Stomvi* equipado con transpositor; con base en este modelo se fueron cambiando el tipo de tapón o rosca '*Clapper*' con el que se embellece y

³³ La construcción se llevó a cabo en los talleres de *Stomvi*. El tubo debe de tener 20 orificios para poder alcanzar todo el rango espectral.

³⁴ Según De Olazábal (1993), la propagación en el aire a 15° C es de 340 m/s. La velocidad del sonido en el aire tiene la condición de aumentar en 0,6 m/s por cada grado centígrado de aumento en la temperatura. (Por cada tres grados la entonación cambia tres cents).

³⁵ El tiempo de reverberación promedio de esta sala es de 0.15 ± 0.05 segundos.

protege el mecanismo exterior y se realizó la medida de la repuesta en impedancia para cada uno. Las distintas situaciones planteadas se muestran en la Figura 31.

Los tipos 5 y 6 son dos transformaciones del tipo 1 para realizar una comparación entre las diferencias existentes entre los distintos tipos (masa, forma interior, material) y como afectan al índice acústico del instrumento.

Tipo y masas	Masa Total (g)
1. <i>Clapper</i> (68,9 g) + Campana (22,4 g)	91,3
2. <i>Clapper</i> (68,9 g)	68,9
3. <i>Clapper</i> Aluminio (23,2 g) + Campana (22,2 g)	45,4
4. <i>Clapper</i> Aluminio (23,2 g)	23,2
5. <i>Clapper</i> (68,9 g) + Masa de plastilina y monedas (22,4 g)	91,3
6. <i>Clapper</i> (68,9 g) + Masa de plastilina y plomo (58,1 g)	127,0
7. Dynamic (102,6 g)	102,6
8. Harmon (65,6 g)	65,6
9. Sin Tapón (0,0 g)	0,0

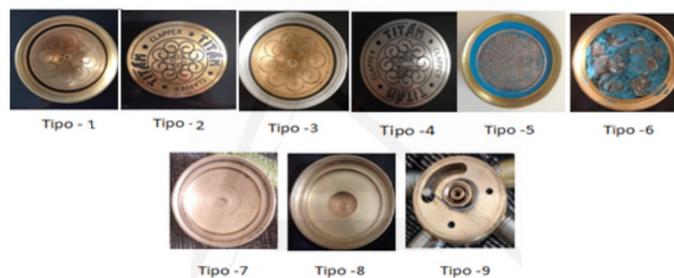


Figura 31: Tipos de masas dinámicas y Clapper.

2.6.1.1.3 Análisis de la relación entre los tapones *Clapper* y la impedancia del instrumento

El cálculo teórico de la impedancia acústica permite determinar las frecuencias propias de la columna del aire a partir de su análisis, lo cual permite establecer los cambios a introducir en el diseño del instrumento, así como en la afinación, entendiéndose siempre un sonido mantenido y estable cuando se ejecuta la nota (ISO10534-2:1998, 2002).

La impedancia acústica es un ejemplo de la función de transferencia de un sistema. Los primeros intentos de medir la función de transferencia³⁶ del trombón datan de 1968. El estudio se realizó en una sala de silencio con trombonistas profesionales y los resultados fueron sometidos al análisis espectral armónico. Las grabaciones fueron hechas en cinta magnética analógica estéreo de 1/4 de pulgada. En las mediciones hechas en 1972 se asevera el comportamiento del trombón como filtro de paso alto, cuestión que se confirma de forma

³⁶ La función de transferencia es la descripción matemática de como un sistema (trombón) afecta al paso de algo (el aire) a través del mismo.

en el año 2000 con tecnología digital. Según Beauchamp (2012), fue entonces cuando se detecta el fenómeno de propagación no lineal en el trombón, que justifica la formación de una onda de choque si la interpretación se realiza en fortísimo, que justifica la fuerza de los armónicos superiores en el trombón (estructura de tubo cilíndrica) frente a lo que ocurre en otro tipo de instrumentos como la trompa o el bombardino de estructura de tubo cónica.

En base a estos precedentes, el presente estudio pretende caracterizar el efecto sonoro que causan en el trombón las diferentes resistencias que introducen los tapones del transpositor. El método utilizado para analizar los tapones Stomvi es similar al que se propuso con el *Software "BIAS" Brass Instrument Analysis System* (2008) que recoge décadas de experiencia en evaluación de la calidad de los instrumentos de metal. Un resumen sencillo del proceso es determinar la fuerza de las ondas estacionarias que se producen en el instrumento, a mayor respuesta en impedancia acústica, mayor sensación en los labios del intérprete cuanto más fuertes, lo que se traduce en mayor facilidad a la hora de ejecutar la nota musical correspondiente. Si se tiene en consideración que el máximo exponente en el timbre del sonido del trombón es definido por la forma del instrumento junto con las características fisiológicas del intérprete³⁷, se deduce que la aportación de otras particularidades como la boquilla, estudiada por Agulló (1989)³⁸ y Vereecke (2011), el metal de construcción o los tapones del transpositor suponen una aportación de calidad al sonido, por supuesto, pero no tan determinante como a veces se suele afirmar, y que está aún por determinar.

El estudio se ha desarrollado con nueve tapones de los cuales podemos decir que a unos se les supone que aportan resistencias dinámicas (masa) y a otras resonancias en base a la forma (campanillas) como base de la mejora sonora del instrumento. El objetivo prioritario es demostrar si los tapones afectan al sonido del instrumento y cómo en cada caso particular. Si por un lado era más eficiente el que aplicaba resistencias dinámicas al instrumento, o en cambio es mejor, desde el punto de vista musical, el efecto que ofrecen las campanillas, como elementos resonantes, que aportarían un apoyo armónico al timbre.

2.6.1.1.4 Resultados

En la Tabla 5 (véase la página 98) se presentan los resultados obtenidos en forma tabulada e identificando las notas correspondientes a las frecuencias de resonancia que

³⁷ Según Freour (2011), las resonancias del tracto vocal tienen un fuerte efecto en el tono sonoro. El aparato fonador, la caja de resonancia y los labios son elementos de impedancia que influyen en la formación del sonido.

³⁸ Estudio que expone la importancia de la boquilla en la formación del sonido.

hemos determinado en el estudio experimental de impedancias realizado. También se presentarán las curvas de respuesta de impedancia según se vaya avanzando en la exposición de las reflexiones y comparativas que componen el texto. Las conclusiones generales que se extraen de la tabla siguiente y que son comunes a todos los trombones son:

- El peso del tapón influye en la impedancia de las frecuencias graves.
- El efecto de los tapones se percibe en el registro central y agudo.
- Los tapones no afectan al registro sobreagudo. Pero sí a los armónicos Fa₃ y Sib₃ levemente.

El trombón con el tapón *Clapper* en el transpositor, ver Figura 32 muestra un índice acústico con una impedancia que fluctúa alrededor de los 20 - 25 rayl y reflejando un decaimiento usual en el registro agudo. Este decaimiento es debido a que el trombón como columna de aire vibrante tiende a amplificar los armónicos superiores en detrimento de la fundamental. Este fenómeno se puede explicar por la formación de una onda de presión es debido al cambio de impedancia, del aire confinado dentro de la tubería, en el paso al aire libre, es decir al cambio de medio. En los graves, al no existir reverberación, las bajas frecuencias radian poco el sonido.

Por el contrario, en el registro agudo sucede todo lo contrario puesto que no existe casi reflexión de salida y por lo tanto las frecuencias altas tienen fácil proyección, de ahí que el trombón se considere un filtro de paso alto. En los últimos armónicos, los que están fuera de la frecuencia de corte, el trombón deja paulatinamente de responder a la vibración de los labios, por ausencia de reflexiones, con su consecuente pérdida de impedancia. Es en este punto donde se producen los armónicos responsables del timbre característico del instrumento. Las diferencias entre el *Clapper* con campanilla y sin ella, resultan poco plausibles. Se evidencia una mayor impedancia y por tanto una mayor resonancia en los armónicos del registro central y agudo, entre el Re₄ y el Sib₄ y el registro grave Sib₂ del *Clapper* sin campanilla, ver Figura 33.

Tabla 5: Resultados del efecto sonoro que tienen las masas dinámicas y Clappers del transpositor del trombón sobre la afinación.

PATRÓN Hz-rayl	Sib ₁	Sib ₂	Fas ₃	Sib ₃	Re ₄	Fa ₄	Lab ₄	Sib ₄	Do ₅	Re ₅	Mi ₅	Fas ₅	Sol ₅	Lab ₅	El peso del tapón influye en la impedancia de las frecuencias graves		El efecto de los tapones se puede medir en el registro central y agudo		Los tapones no afectan al registro sobreagudo ni a los armónicos F ₃ y Bb ₃ en menor modo (frecuencias centrales)			
															Hz	(rayl)	Hz	(rayl)	Hz	(rayl)	Hz	(rayl)
La ₄ 440	58.27	116.54	174.6	233.1	293.7	349.2	415.3	466.2	523.3	587.3	659.3	698.5	784.0	830.6								
CLAPPER (rayl)	54.69	115.63	173.44	231.25	290.63	350	406.25	467.19	529.69	593.75	654.69	709.38	771.88	835.94								
	01.61	22.40	20.09	21.15	24.64	23.31	20.43	21.91	16.49	09.37	08.42	07.38	04.90	03.50								
CLAPPER (Hz)	53.13	112.5	173.44	231.25	293.75	350	407.81	467.19	529.69	595.31	654.69	709.38	770.31	835.94								
SIN CAMAPANILLA (rayl)	01.80	25.59	20.74	21.00	25.64	26.17	17.35	18.38	16.13	09.05	08.33	07.40	05.04	03.50								
CLAPPER PLATA (Hz)	51.56	114.06	171.88	231.25	293.75	350	407.81	468.75	529.69	595.31	656.25	710.94	771.88	839.06								
	02.38	26.39	20.42	20.68	25.47	24.25	21.63	19.04	15.89	09.07	08.13	07.12	04.91	03.41								
CLAPPER PLATA (rayl)	54.69	112.5	170.31	229.69	292.19	346.88	406.25	464.06	526.56	592.19	653.13	707.81	767.19	834.38								
SIN CAMAPANILLA (rayl)	01.81	19.92	19.37	21.02	24.78	23.50	17.14	19.00	15.75	09.24	08.29	07.42	05.09	03.48								
CLAPPER (Hz)	53.13	114.06	173.44	231.25	293.75	348.44	407.81	465.63	528.13	593.75	654.69	709.38	768.75	837.5								
MONEDAS (rayl)	02.54	26.05	19.48	20.25	24.99	23.36	18.35	20.33	16.33	09.17	08.24	07.37	05.14	03.49								
CLAPPER (Hz)	51.56	114.06	173.44	231.25	293.75	348.44	410.94	468.75	532.81	598.44	657.81	715.63	773.44	842.19								
PLOMO (rayl)	03.80	25.20	19.75	20.72	23.10	21.05	15.67	17.05	14.99	08.70	07.94	07.25	05.03	03.40								
DYNAMIC (Hz)	54.69	112.5	173.44	229.69	292.19	350	406.25	465.63	529.69	593.75	653.13	707.81	768.75	834.38								
	1.76	24.59	19.75	20.52	25.02	24.51	17.05	17.58	15.90	09.36	08.44	07.52	05.27	03.50								
HARMON (Hz)	51.65	114.06	173.44	231.25	293.75	350	407.81	467.19	529.69	595.31	654.69	709.38	768.75	835.94								
	02.30	24.62	21.28	20.73	28.49	22.36	16.13	18.28	16.88	09.10	08.37	07.48	05.15	03.47								
SIN TAPÓN (Hz)	62.5	114.06	171.88	231.25	293.75	348.44	407.81	467.19	528.13	595.31	654.69	709.38	770.31	835.94								
	0.74	27.92	20.72	20.76	23.95	25.33	16.08	17.55	16.06	08.95	08.24	07.42	05.08	03.51								

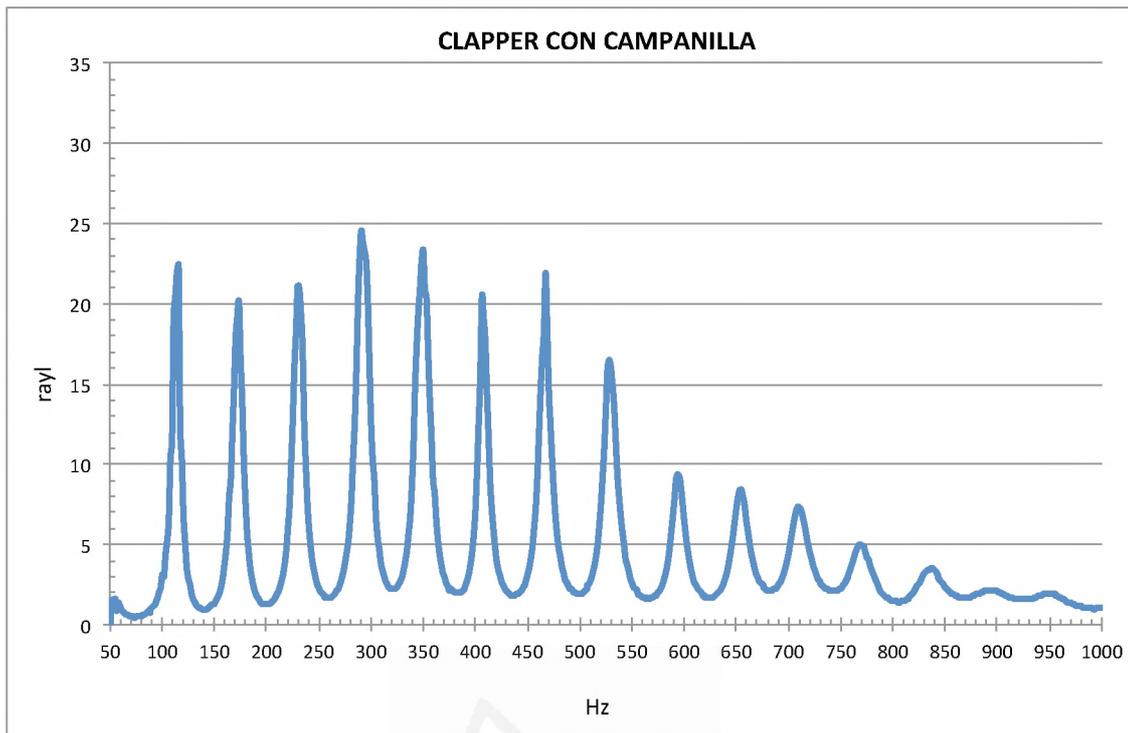


Figura 32: Clapper con campanilla.

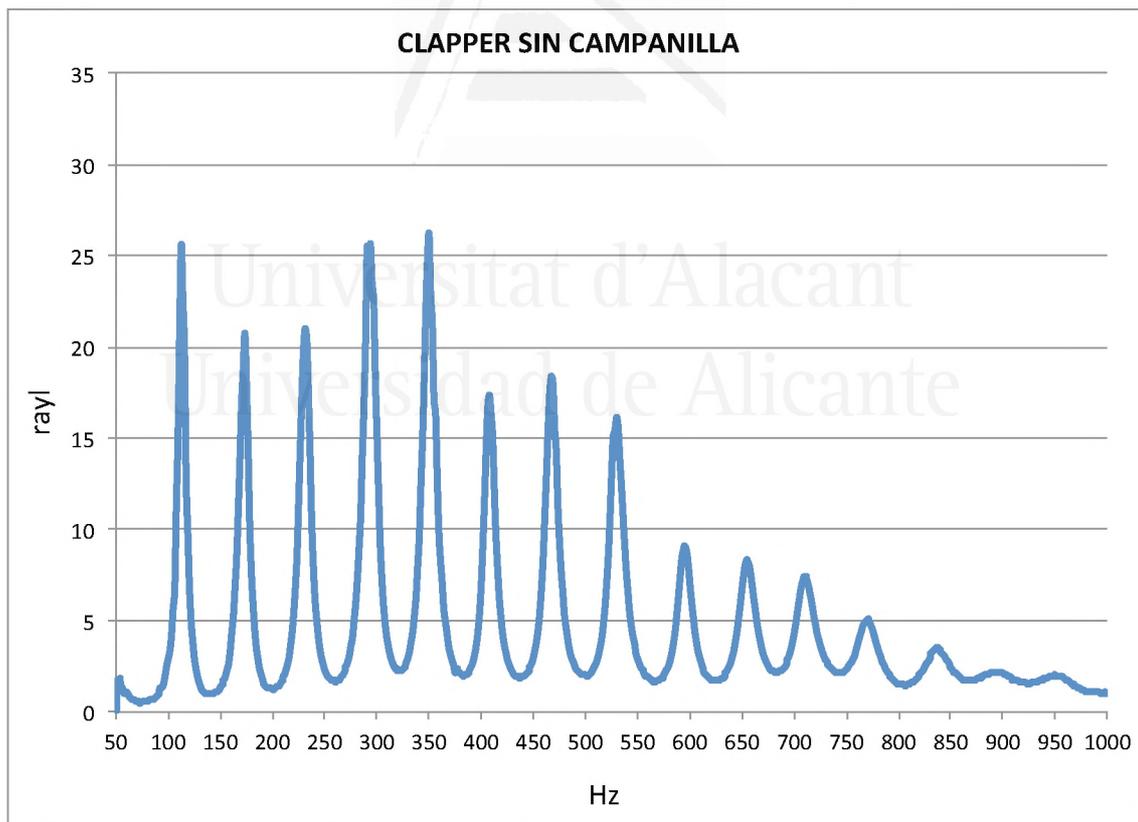


Figura 33: Tapón Clapper sin campanilla.

Al comparar el modelo de tapón *Clapper* con el tapón *Clapper* plata (aluminio), véase la Figura 34, los resultados no evidencian ningún cambio relevante en el registro resonante (Bb_2 , D_4 - Bb_4) al incluir o no la campanilla, pero el *Clapper* plata ofrece una mayor impedancia que los modelos anteriores.

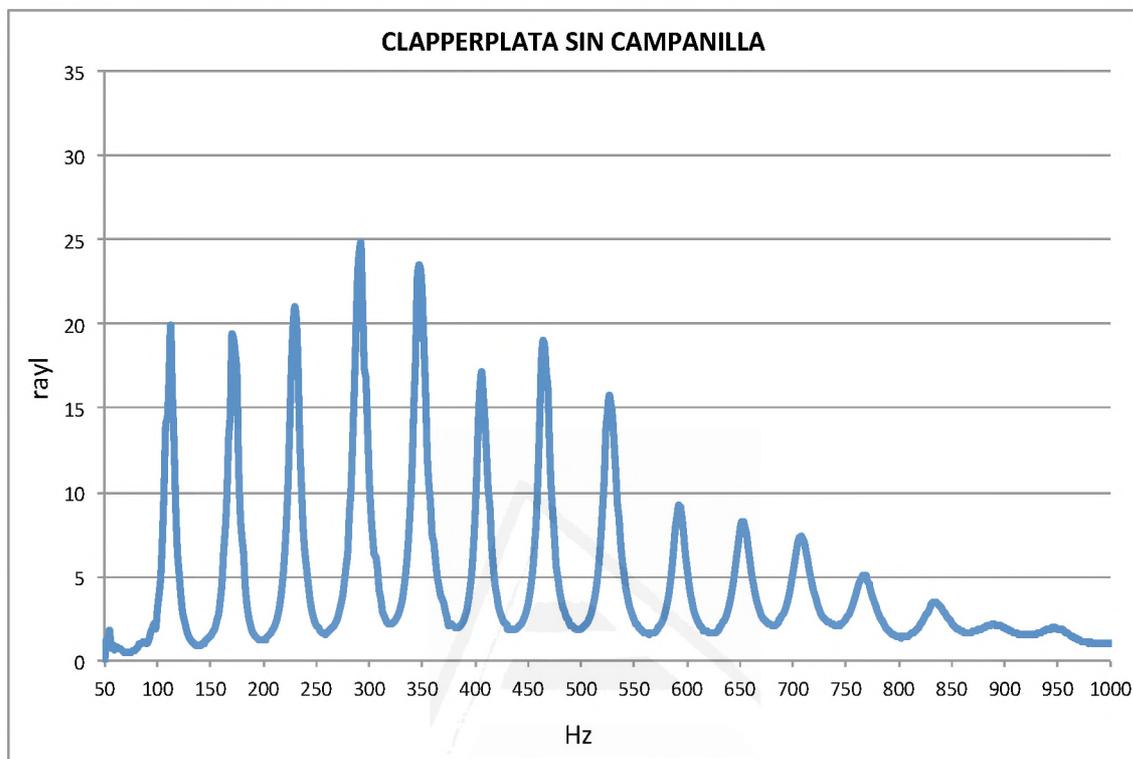


Figura 34: Tapón *Clapper* plata sin campanilla.

Ante la duda sobre la funcionalidad de la campanilla en los tapones del transpositor del trombón, se procedió con el cambio de ésta por una masa no rígida en los modelos 5 y 6 citados anteriormente en la Figura 34.

En la Figura 35 se recogen los resultados del análisis de impedancias correspondientes a *Clapper* de plastilina y monedas sin campanilla. EL propósito de este análisis es relacionar sus resultados con los del *Clapper* con campanilla expuestos en la (Figura 32). Este análisis compara el peso de ambos tapones (91,3g) para de esta forma atribuir al efecto de la campanilla cualquier cambio en el espectro de impedancia. De ello se concluye que salvo la excepción del segundo armónico (Sib_2) que tiene una mayor impedancia para el *Clapper* con plastilina y monedas, no existen evidencias significativas. Con el mismo fin, se intentó superar el peso del tapón Dynamic (102,6 g) modificando el *Clapper*, sin campanilla, pero con la adición de plomo hasta los 127,0 g.

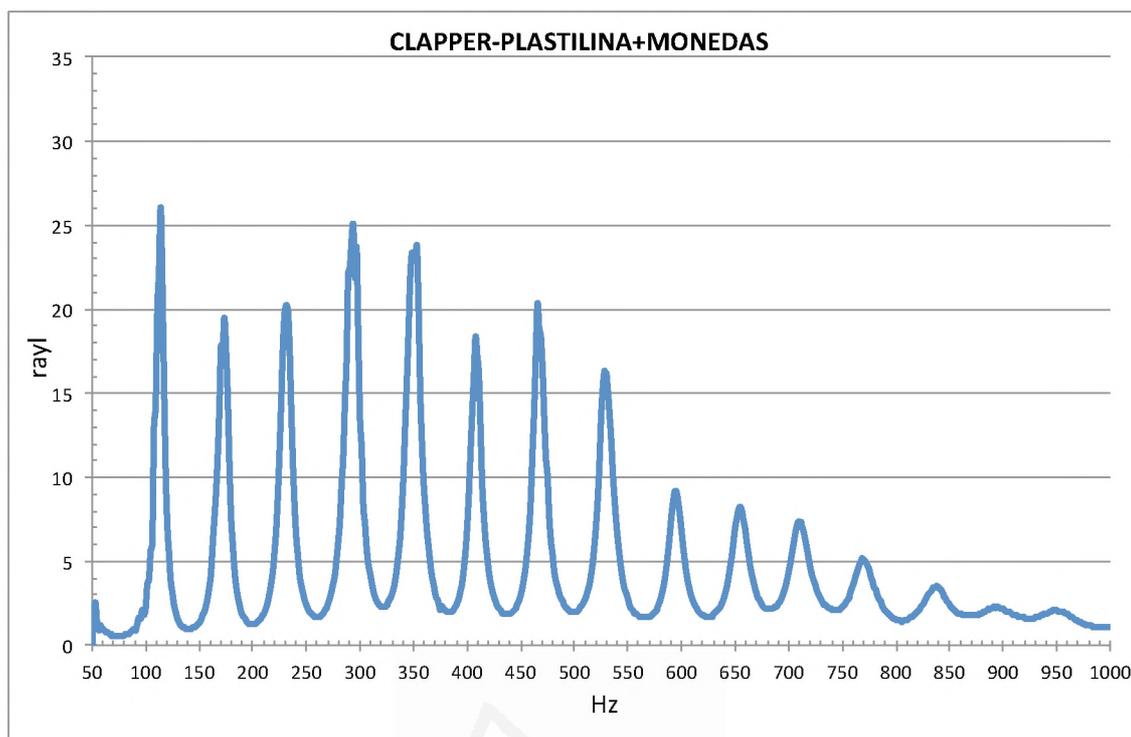


Figura 35: Clapper sin campanilla+plastilina+monedas.

Los resultados arrojan cuánto mínimo una información interesante pues existe una relación directa entre la masa del *Clapper* monedas y el *Clapper* plomo con el incremento de la nota fundamental Sib₁, es decir; el incremento del peso del tapón aumenta la impedancia de la nota fundamental, en cambio el beneficio que se consigue en el registro grave no puede ser completado con el el registro armónico donde más actúan los *Clapper* (Sib₂, Re₄-Sib₄) puesto que en este registro el aumento de la masa no ha supuesto ninguna evidencia notable, apreciándose un leve detrimento de la impedancia de estos tapones en este registro. Véase la Figura 36.

El modelo de tapón *Clapper* con monedas, que pretende imitar al tapón *Clapper* con campanilla, demuestra que el efecto de la campanilla resulta poco relevante puesto que al ser substituida no demuestra diferencias significativas en la impedancia. Por otro lado, el tapón *Clapper* al que se le ha añadido plomo para superar la masa total del tapón Dynamic, evidencia un cambio en la nota fundamental Sib₁, con un notable incremento. Y con un leve detrimento sobre el registro del Fa₄, por tanto, el aumento de la masa dinámica en los tapones sí actúa en el registro fundamental del instrumento mientras que mantiene las características del registro agudo con leves cambios.

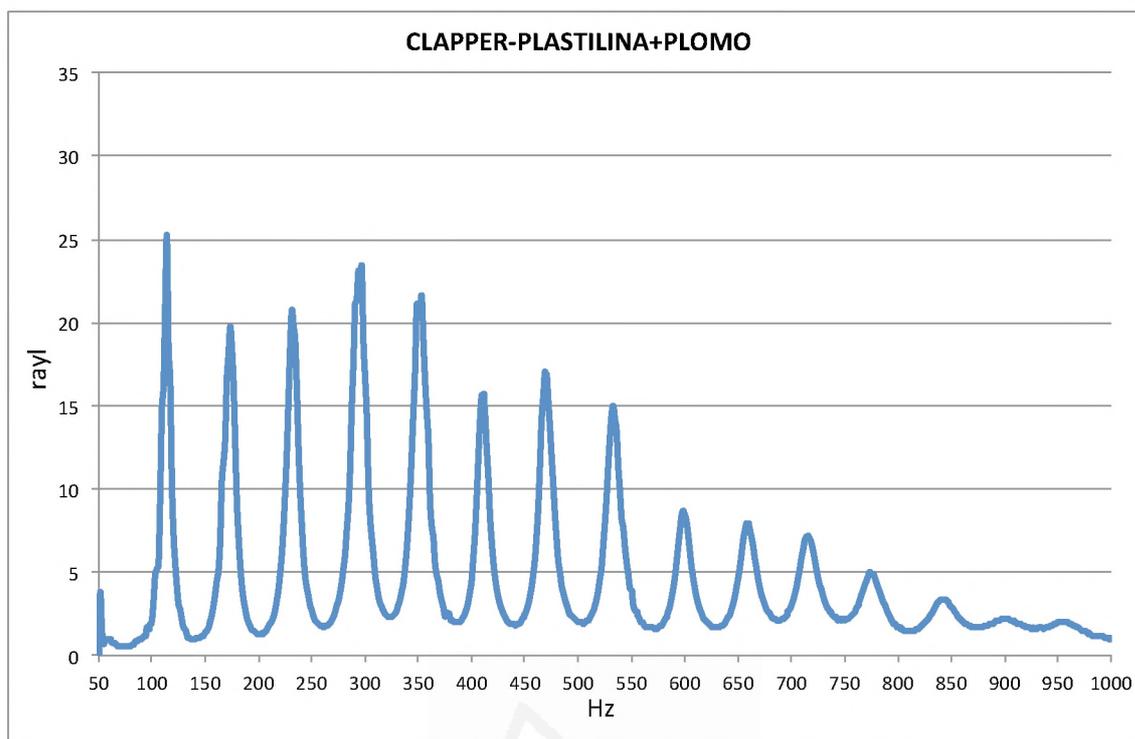


Figura 36: Clapper sin campanilla+plastilina+plomo.

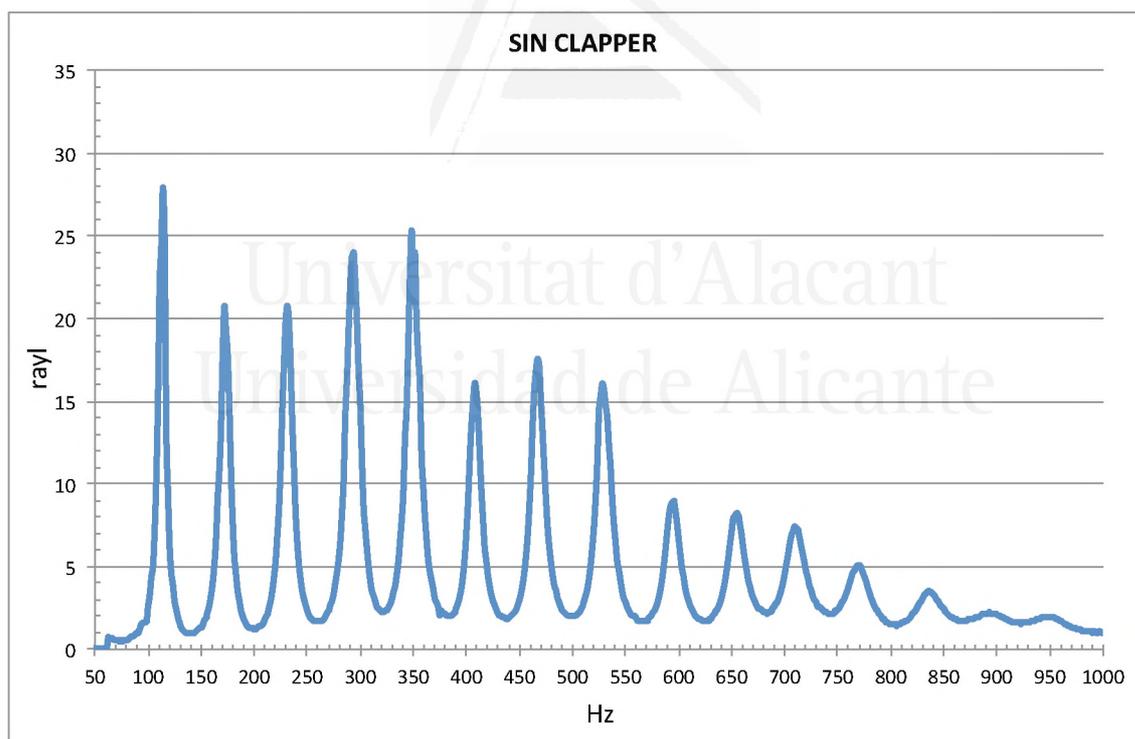


Figura 37: Sin tapón en el transpositor.

Si el aumento de la masa dinámica actuaba en la impedancia del armónico fundamental y levemente en los armónicos superiores, tal y como ya se ha citado con los tapones del transpositor *Dynamic* y las pruebas con plomo y monedas, se experimentó su proceso inverso, es decir, quitando peso del transpositor. Para ello se observaron los

resultados del modelo de tapón *Harmon* y por último se quitó directamente el tapón del transpositor, como se observa en la Figura 37.

La influencia sobre la nota fundamental resulta evidente, puesto que la impedancia sobre ésta disminuye. Pero el efecto más notable es que al quitar el tapón del transpositor, existe una mayor disparidad en la impedancia de todo el registro armónico respecto a los patrones de los modelos de tapón anteriores, por tanto:

Se puede afirmar que dentro del registro de aplicación del tapón en el índice acústico y teniendo en cuenta que el tipo de tapón no define el timbre ni resulta determinante o definitivo para el sonido, cabe decir que el tapón sobre el transpositor ayuda a homogeneizar la impedancia en el registro armónico del trombón y por tanto ayuda al músico a conseguir un sonido más homogéneo en todo el registro armónico dentro de las restricciones establecidas.

Los tapones tienen una evidente influencia en las frecuencias correspondientes entre Re4 293.7 Hz y Si4 466.2 Hz, las cuales demuestran una impedancia superior siendo el punto máximo de resonancia en el instrumento. Las frecuencias ascendentes siguientes, muestran un decaimiento paulatino en la impedancia del instrumento lo cual manifiesta que el instrumento deja oponer resistencia al paso de la columna de aire vibrante y en consecuencia presenta una menor resonancia³⁹.

2.6.1.1.5 *Encuesta acústica. Encuesta de opinión sobre los registros del fragmento de una pieza interpretada con el trombón en cada una de las situaciones estudiadas en el apartado anterior*

Se realizó una grabación del fragmento del concertino de David (Ferdinand David Opus n°4) La-Si⁴⁰ con todos los tapones presentados en la tabla de impedancias. Para las grabaciones de audio se utilizó un torso binaural de *Head Acoustic* usando su salida digital y la tarjeta de adquisición *SounBlaster-Audigy* y unos auriculares, *AKG-K612-Pro*, para la audición. La elección de este concertino para trombón de Ferdinand David dedicado al virtuoso del trombón de varas Carl Queisser⁴¹, se debe al gran registro sonoro que abarca,

³⁹ Según Pierce (1985), la reflexión de la onda es muy importante para controlar junto con los labios la columna del aire. Este requisito se pierde en las notas sobreagudas (fuera de la frecuencia de corte) o extremas puesto que no hay reflexión o muy poca.

⁴⁰ David, Ferdinand. *Konzertino op.4 in Es-Dur für Posaune und Klavier. Arr. Rob. Müller*. Frankfurt: Zimmermann, 2002. Aunque la obra original responde al siglo XIX, esta cita corresponde a la reimpresión editorial de Zimmermann del 2002.

⁴¹ Guion, D. (02-06-2015). On-line Trombone Journal. Recuperado de: <http://www.trombone.org>.

el cual se identifica perfectamente con el campo de acción de las mayores impedancias de los tapones del transpositor.

Este set de grabaciones se reprodujo a nueve trombonistas profesionales, presentándoles los audios a través de los auriculares y sin que supieran cuáles eran las condiciones de grabación (Tipo de *Clapper*). Al terminar la audición se somete a una serie de preguntas y cuestiones para que expresen sus sensaciones desde el punto de vista musical, y para finalizar se les pide que valoren cada uno de los ejemplos escuchados, ordenándolos de mejor opinión a peor.

2.6.1.1.6 Resultados

El siguiente gráfico (Figura 38) muestra la valoración promedio con los máximos de preferencia en base a una encuesta realizada a profesionales del ámbito del trombón.



Figura 38: Promedio de las valoraciones del trombón con diferentes masas dinámicas tras la audición del concierto de F. David

Tabla 6: Resultados individuales de la audición del Concierto de F. David con las diferentes masas dinámicas del trombón, y desviación típica de cada encuesta. Resultados individuales y desviación típica de cada encuesta.

Tipo	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	Media	σ
Clapper	3	4	2	2	2	9	3	2	2	2.4	0.7
Clapper sin campanilla	4	5	7	3	3	10	2	3	3	4.3	2.3
Clapper Aluminio	7	6	6	5	8	10	7	5	4	6.4	1.8
Clapper Aluminio sin campana	7	6	6	5	8	10	7	5	4	6.4	1.8
Clapper plastilina y Monedas	8	2	5	7	5	7	6	7	6	5.9	1.8
Clapper plastilina y plomo	2	3	3	8	10	8	5	6	8	5.9	2.8
Dynamic	10	10	10	10	7	6	4	9	10	8.4	2.2
Harmon	9	9	9	9	9	4	10	8	9	8.4	1.7
Sin Tapón	6	8	4	6	4	3	8	10	7	6.2	2.3

Vemos en la valoración subjetiva y personal de los profesionales del sector (véase Tabla 6) que las preferencias se decantan del lado de la masa añadida por el tapón en el transpositor en detrimento de las campanas de los *Clapper* que pretenden aumentar los armónicos del instrumento. En un estudio complementario realizado en la cámara semi-anechoica de la Universidad de Alicante, se ha actuado sobre las campanas para analizar su espectro armónico, encontrando que su frecuencia de resonancia fundamental está alrededor de los 4000 Hz, que se encuentra totalmente alejada de las frecuencias de resonancia naturales del trombón de varas. Este puede ser un motivo por el que la campana del *Clapper* quizás no actúe como se preveía y por tanto resulta conveniente reflexionar sobre la idoneidad de un nuevo método de análisis, en el que al contrario del tubo de impedancia no corte las frecuencias sobre los 800 Hz y en cambio si observe como actúan las campanillas en las frecuencias situadas entre 200 Hz y 20.000 Hz.

2.6.2 Segunda fase: Masas dinámicas (*Maxiclappers*)

Gracias a la base establecida, en un primero momento, con los analizados *Clappers*, en la segunda fase estos evolucionan hacia los *Maxiclappers*. Este último desarrollo tecnológico de Stomvi, pretende favorecer los armónicos superiores del sonido de los instrumentistas de viento metal y gracias a esta aportación, que estos encuentren apoyo cuando el instrumento llega cerca de su frecuencia máxima de corte.

Todos los constructores de instrumentos de viento metal se ven limitados por la frecuencia de corte. Es decir, todos los instrumentos tienen una resonancia máxima favorecida por la formante de la moquilla en el registro central-agudo de cada instrumento. Las frecuencias graves y sobre agudas no corresponden al instrumentista con la misma intensidad y con su correspondiente pérdida de apoyo aumenta la dificultad para el músico. Existe un estándar sonoro que impide tocar con boquillas demasiado pequeñas o grandes y por lo tanto, la boquilla estándar limita nuevamente la zona de resonancia.

Poder suplir esta frecuencia de corte dada por la unión de la boquilla, cuerpo y campana, para de este modo destacarse en el mercado con un producto que facilite al instrumentista el apoyo en el registro agudo, supondría un desarrollo tecnológico sin precedentes.

A pesar de que las resonancias que se dan en las frecuencias cercanas a la zona de corte son muy tímidas, existe diferencia entre las distintas marcas de construcción de

instrumentos. Estas diferencias delimitan el sonido de cada marca de instrumentos en base al siguiente principio:

Si una marca de instrumentos apuesta por excitar las resonancias en las frecuencias cercanas a la zona de corte para que el músico esté algo más cómodo donde el instrumento deja de responder, la consecuencia será, y sin tener en cuenta la boquilla puesto que cada músico tiene una distinta dentro de los mismos cánones, un sonido brillante dado por el diámetro del tubo y de la campana, y por un grosor fino en el material de construcción de la pared que contiene la columna del aire vibrante y sin atenuantes que amortigüen las resonancias propias de la campana. El sonido brillante tiene sus pros y contras. A favor la calidad del sonido y facilidad de emisión. Y en contra que en el registro *fff* no mantiene la calidad tímbrica. Este es un instrumento perfecto para el estudio de las enseñanzas oficiales de música en cualquiera de sus grados.

En cambio, si una casa de instrumentos apuesta por tener un sonido más oscuro (con pocos armónicos superiores en el espectro armónico) y homogéneo, de perfil orquestal, deberá aumentar el diámetro de tubo y de la campana dentro de la afinación establecida para el trombón en Do, el grosor del material de construcción de la pared que tiene confinada la columna del aire vibrante y favorecer las resistencias que atenúan la vibración de la campana. Este perfil de instrumento pierde resonancias en la zona cercana a la frecuencia de corte con su consecuente dificultad para el instrumentista al tener menos apoyo resonante.

Ambos modelos de instrumento trabajan por superar su caballo de batalla. El caso que nos atañe pertenece al tipo de instrumentos de perfil orquestal. En este caso, la casa Stomvi apuesta por unas campanas resonadoras (*Maxiclappers*) que entran en vibración al estar en contacto con la estructura del instrumento y con ello, pretenden ganar el apoyo resonante en las frecuencias sobreagudas, tan importante para los intérpretes de metal.

Sin duda, valorar objetivamente las masas dinámicas (*Maxiclappers*) gracias al estudio que desarrollamos seguidamente, permite al profesor utilizar con propiedad estas herramientas y favorecer al alumnado que le sean de utilidad bajo un raciocinio objetivo.

La siguiente investigación: “Influencia de las campanas resonadoras (*Maxiclappers*) en la respuesta en impedancia y en el timbre de los instrumentos de viento metal”, pretende evaluar la eficacia de los *Maxiclappers* en la calidad sonora del instrumento y se desarrolla mostrando el contenido principal del artículo que fue presentado en el Congreso Ibérico de Acústica celebrado en Oporto, Euroregio – 2016 (Esteve-Rico et al, 2016b).

Antes de llegar a ella, cabe matizar que con el tubo de impedancia no existía ninguna diferencia entre las masas dinámicas y los *Maxiclappers*, más allá de su peso. En

conversaciones con el constructor, este valoró la importancia de la excitación de la columna del aire por parte del intérprete como elemento necesario para el correcto funcionamiento de la herramienta puesto que, al parecer, el ruido rosa del tubo de impedancia podía resultar escaso.

En el mejor de los casos el objetivo era fabricar unos labios artificiales que eliminaran la influencia del intérprete. Ante esta premisa, surgió un nuevo inconveniente, primeramente, por la dificultad de generar un sonido estable con los labios artificiales y en segundo lugar porque los *Maxiclappers* necesitan de una correcta interpretación, según su constructor. Es decir, sólo un músico experimentado en ellos puede hacer medible la diferencia y tangible la aportación sonora del *Maxiclapper* en el registro agudo.

Sobre este contexto se realizó una comparativa entre dos grandes intérpretes de trompeta en el panorama nacional actual, y que desarrollamos seguidamente.

2.6.2.1 Influencia de las campanas resonadoras (Maxiclappers) en la respuesta en impedancia y en el timbre de los instrumentos de viento metal

Tras el análisis de la influencia de las masas dinámicas realizado con anterioridad, nos enfrentamos ahora a la determinación del papel que pueden tener las campanas resonadoras (*Maxiclappers*), introducidas por Stomvi en el mercado, sobre el timbre de una trompeta. Se comprobó que las masas dinámicas afectan a la respuesta en impedancia ecualizando de alguna manera la serie armónica característica de la trompeta. Ahora se trata de estudiar el efecto que producen sobre el espectro armónico dichas campanas resonadoras, afinadas en una frecuencia determinada y encapsuladas en contacto con la tubería del instrumento. Para ello aparte de las medidas de impedancia pertinentes en cada caso, se analizará el problema a partir de grabaciones en cámara anecoica por trompetistas profesionales.

2.6.2.1.1 Introducción

El objetivo primordial en el desarrollo de los instrumentos de viento metal se centra en la investigación y mejora de la calidad de su sonido a lo largo de la serie armónica, así como en conseguir la mejor respuesta del instrumento en las frecuencias sobreagudas.

Para Kausel (2010), el timbre de esta familia de instrumentos está gobernado por: el grosor de las paredes, el diámetro y geometría del túnel, la forma interior del instrumento, la apertura de la campana e incluso, en menor proporción, el tipo de metal de construcción.

Un instrumento es aire confinado que depende de la materia que lo conforma y que es capaz de vibrar bajo la aplicación de una excitación externa. Por tanto, siempre que se actúa sobre alguno de los condicionantes anteriormente establecidos se altera la respuesta en frecuencia de la serie armónica del instrumento.

La firma Stomvi apuesta con una evolución de las antiguas masas dinámicas presentadas por Esteve-Rico y Vera (2015a), cuyo desarrollo inicial fueron los llamados *Clappers* que finalmente han desembocado en *Maxiclappers* que se muestran en la Figura 39. Con ellos se pretende conseguir intensificar la respuesta del instrumento y así favorecer las frecuencias a lo largo de toda la serie armónica. Hay que resaltar que mientras que las masas dinámicas actuaban de alguna forma aumentando la impedancia de forma selectiva, según Esteve-Rico y Vera (2015a), los *Clapper* y *Maxiclapper* se piensan para que, aparte de su función básica de masa localizada añadida, actuaran a modo de resonadores ya sea de forma directa o indirecta aportando un halo frecuencial donde el músico interprete se pueda apoyar a la hora de generar aquellas notas donde por sus condicionantes estructurales el instrumento no existe, solo queda aire excitado por los labios en la embocadura.



Figura 39: Masa dinámica, Clapper y Maxiclapper.

De esta forma, lo que hace el *Maxiclapper* es que el interprete ya sea físicamente: lo labios encuentran una impedancia, una contrapartida real en forma de reflexión desde la frontera de la campana. O bien mentalmente de forma subjetiva, el músico enlaza con la sensación necesaria para ejecutar el sonido deseado.

El postulado teórico que sustenta Stomvi y que se intenta objetivar en este artículo es que: al igual que la vibración de un diapasón al entrar en contacto sobre una superficie se transmite a dicha superficie, las campanillas encapsuladas dentro de los *Maxiclappers* serán excitadas por la vibración del instrumento, entonces éstas a su vez solo responderán en el intervalo de frecuencia que le es propio por su afinación y así el músico dispondrá de un apoyo extra para ejecutar con más comodidad ciertas notas que antes le presentaban alguna dificultad. Si esto fuera así, ya sea por causas físicas o mentales, deberíamos de encontrar

diferencias notables en la interpretación con un instrumento sin *Maxiclapper* y con este accesorio. Se objetivará la investigación en base a un análisis espectral clásico de grabaciones realizadas en cámara anecoica.

Para la evaluación de los *Maxiclappers* hemos tenido artistas experimentados en su uso como lo contrario, artistas no iniciados en el uso de las masas dinámicas ni campanas resonadoras (*Maxiclappers*).

2.6.2.1.2 Metodología

En este trabajo las medidas experimentales se han llevado a cabo en condiciones controladas, en una cámara anecoica perteneciente al Centro de Tecnologías Físicas de la Universitat Politècnica de València. La cámara tiene unas dimensiones de $8 \times 6 \times 3 \text{ m}^3$. En la Figura 40(a) se muestra un esquema de la cámara y la disposición de los distintos elementos utilizados para llevar a cabo las medidas. Un micrófono se encuentra conectado a un analizador donde se registra la señal temporal. El analizador que está conectado a un ordenador (PC), trata la señal obteniendo su transformada rápida de Fourier, conocida más popularmente por su acrónimo anglosajón *fast Fourier transform* (FFT), para representar por pantalla los resultados. El análisis de esta señal se realiza representando espectros, donde se muestra el nivel de presión sonora en decibelios (dB) frente a la frecuencia en Hercios (Hz).

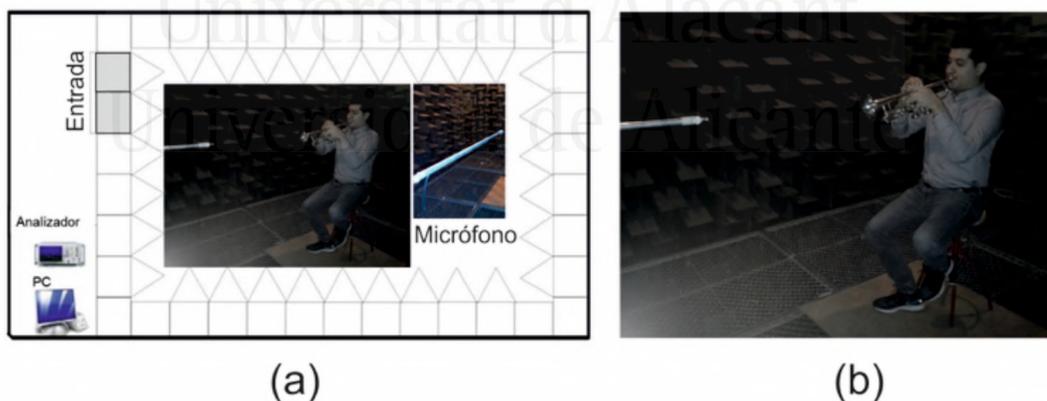


Figura 40: (a) Conjunto experimental utilizado para las medidas. (b) Posición relativa trompeta-micrófono en el momento de la medida. Músico D. Pacho Flores.

El material utilizado para el análisis de frecuencias sonoras fue:

- Trompeta Titan 3/27 Bellflex.
- Bomba redonda correspondiente.
- Bomba cuadrada correspondiente.
- Boquilla 1 1/4 Old Style.

- 2 *Maxiclappers* en sol.
- 3 *Clappers* de pistón internos.
- 3 Guías Dynasound con contrapeso de latón.

En la Figura 41 se muestra la serie armónica analizada. En este estudio nos vamos a encontrar resultados dispares: notas o zonas donde se ejemplifica claramente la acción de los *Maxiclappers* y otras en las que no se aprecian cambios significativos o incluso no resultan favorables para uno de los intérpretes según el caso.

Pasamos a analizar todos los casos planteados y nos queda el siguiente patrón en los artistas evaluados.



Figura 41: Notas analizadas para la trompeta Stomvi en Sib.

2.6.2.1.3 Evaluación de la sesión de grabación del 27/02/2016 en la cámara anecoica con los profesores de trompeta Ignacio Lozano y Pacho flores

Tonos o frecuencias en los que los *Maxiclapper* tienen baja influencia: Fa4 y Sib5

Las frecuencias iniciales o graves muestran poca acción de los *Maxiclappers*. Igual ocurría en estudios anteriores sobre las masas dinámicas añadidas a un trombón de varas, Esteve-Rico y Vera (2015a).

Esto puede ser debido al hecho mencionado de que la trompeta al igual que el trombón es un filtro paso alto con una frecuencia de paso alrededor de 110 Hz que no sufre alteraciones por la adición de masa y por supuesto estos dispositivos tampoco aportan nada en esa zona por las supuestas resonancias que se les atribuyen.

Resulta impreciso establecer con claridad hasta qué frecuencia se mantienen estables e idénticos los tonos con y sin *Maxiclapper* en las frecuencias bajas. En la Figura 42 se puede identificar un ligero desplazamiento en los armónicos superiores, pero con cierta disminución energética.

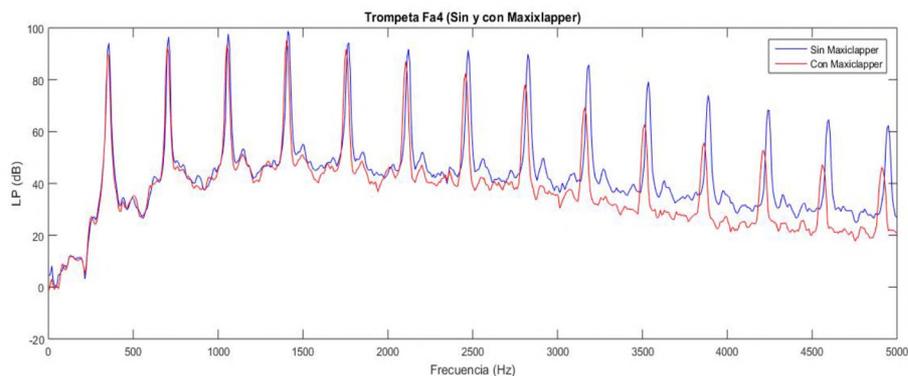


Figura 42: Fa4 con y sin Maxiclapper- Bomba cuadrada.

Al comparar el tono de Sib5 con una trompeta con o sin *Maxiclappers* Figura 43 se observa el mismo fenómeno. No podemos resaltar ninguna diferencia significativa, salvo el desplazamiento frecuencial, que no se pueda atribuir al intérprete.

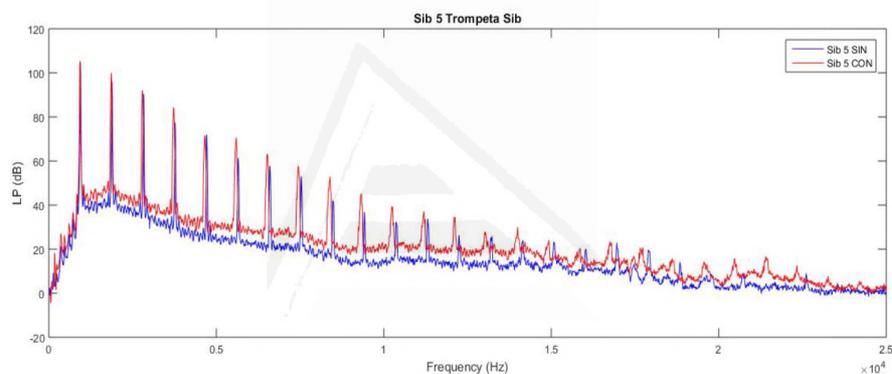


Figura 43: Sib5 con y sin Maxiclapper- Bomba cuadrada.

Tonos o frecuencias en los que los Maxiclapper parecen tener mayor eficacia: Sib₃, Lab4

Los siguientes resultados corresponden a dos artistas diferentes, y con trompetas de geometrías diferenciadas. Uno de ellos utilizó la bomba general en forma de codo puesto que le ofrecía mejores sensaciones. Otro en cambio, necesitó de la bomba circular pues la bomba acodada le resultaba incómoda. Sabemos que el comportamiento del fluido no es igual cuando los cambios de dirección son bruscos o suaves; presentando mayor o menor resistencia al paso según sea el desarrollo de las turbulencias que se producen en esos puntos y que se traducen en una variación en la impedancia que afecta tanto a la respuesta del instrumento como a las sensaciones a las que el intérprete está acostumbrado al afrontar la producción de un determinado sonido (tono).

Esta experiencia, es importante para entender que el elemento más delicado e importante es el intérprete el cual ha de saber cómo excitar la columna de aire y llegar a accionar los *Maxiclapper* en su caso, por lo que puede que la presencia de estos accesorios conjugados con el resto de los elementos sea adecuada o favorable a sus características en mayor o menor medida.

Como se ha comentado para el tono anterior, la parte inicial del espectro tiene grandes similitudes tal y como muestran las Figura 44-45.

Para el rango de frecuencias centrales, donde el instrumento y el intérprete están mejor sintonizados, resulta muy favorable la acción de los *Maxiclappers* debido a la gran intensidad que muestra la respuesta armónica, eso significa que la trompeta proporciona unos valores adecuados, mayor intensidad de la impedancia a las vibraciones del aire en esas frecuencias.

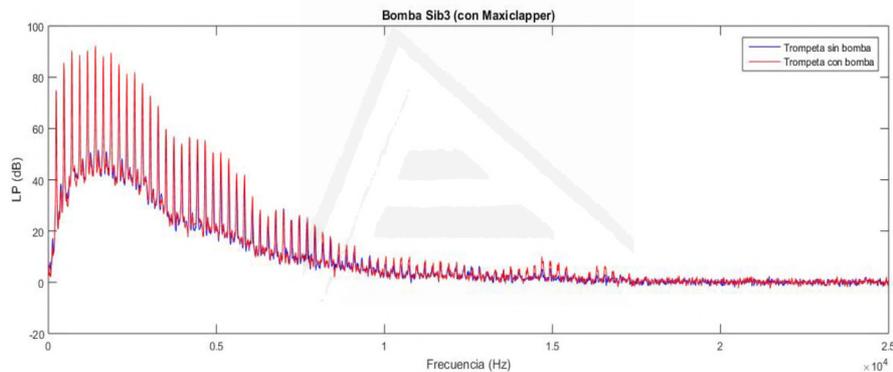


Figura 44: Sib 3 con y sin Maxiclapper- Bomba redonda.

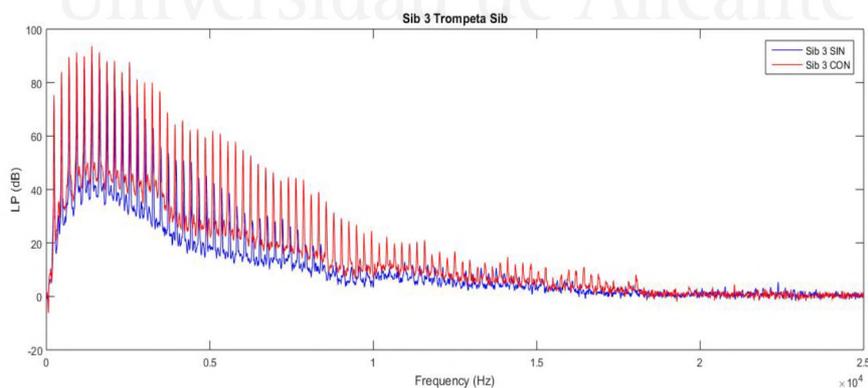


Figura 45: Sib 3 con y sin Maxiclapper- Bomba cuadrada.

Sib3-Bomba redonda: La gráfica resulta más afinada, estable y armoniosa con *Maxiclappers* a lo largo de todas sus frecuencias. Cabe resaltar un magnífico resultado para los *Maxiclappers* en este intérprete con la bomba redonda. Ver Figura 44.

Sib3- Bomba ángulo recto: En el siguiente caso Figura 45, se observa que, desde 4 000 Hz hasta 15 000 Hz la trompeta con *Maxiclappers* obtiene mejor nivel de armónicos e incluso llegan a desplazarse un poco, lo cual puede afectar al timbre del sonido.

En el rango final analizado la trompeta deja de responder, lo que está dentro de la normalidad, y los armónicos van decayendo paulatinamente, aunque es cierto que con los *Maxiclappers* se obtiene mejor resultado, especialmente entre las frecuencias 15 000 Hz – 18 000 Hz.

Lab4- Bomba ángulo recto: Si observamos el nivel de presión sonora para este tono, Figura 46, a partir de 3 000 Hz aproximadamente funciona mejor con *Maxiclapper*.

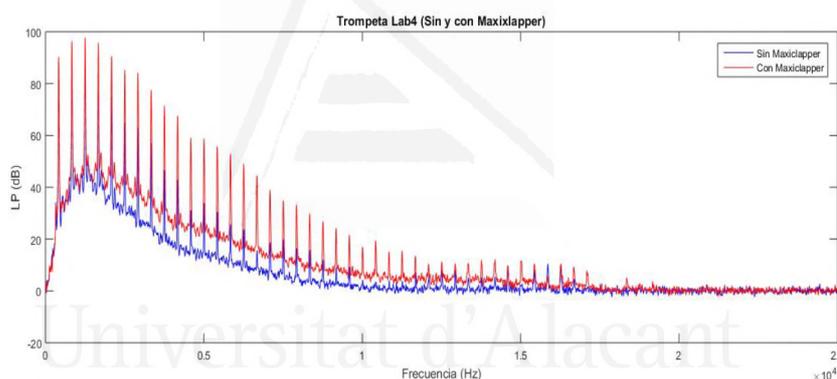


Figura 46: Lab 4 con y sin Maxiclapper- Bomba cuadrada.

Tono Sib4 - Bomba redonda: Se aprecia una diferencia a favor de los *Maxiclappers* desde 10 kHz hasta 20 kHz. Ver Figura 47: Sib 3 con y sin *Maxiclapper*- Bomba cuadrada

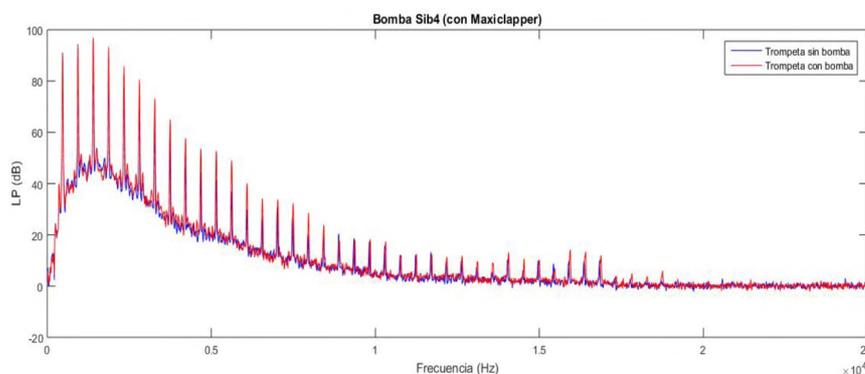


Figura 47: Sib 4 con y sin Maxiclapper- Bomba redonda.

Tonos en los que la acción del *Maxiclapper* influye en frecuencias determinadas La4, Sib5

Como ya hemos dicho en los párrafos anteriores, los *Maxiclappers* muestran muy poca efectividad en las frecuencias iniciales y las finales o superiores. Esto puede ser debido a que la impedancia del instrumento en esas zonas es muy débil y es casi imposible que la vibración de la embocadura que se trasmite por el aire excite adecuadamente el espectro armónico del instrumento, lo que se ve reflejado en la bajísima intensidad de los armónicos cercanos a las frecuencias de corte. Aparentemente la zona de acción de estos se encuentra en un rango concreto que abarca aproximadamente desde 5 000 Hz hasta 15 000 Hz. Lo cual, a nuestro parecer, es habitual en todas las trompetas analizadas hasta el momento.

Los ejemplos que se muestran a continuación se centran en aquellas situaciones en las que el espectro no se ve afectado de forma continua, tan solo se puede decir que en determinados armónicos parece que ha habido cierta amplificación relativa. Sabemos que los resultados no son determinantes pues tan solo se ha dispuesto de dos sesiones con intérpretes distintos, pero parece esclarecedor que existen otros condicionantes y que la adición del *Maxiclapper* puede marcar diferencias, aunque no siempre sean positivas.

Como ejemplo se muestran los siguientes tonos:

- La4 – La amplitud de sus armónicos se ve favorecida o no de forma intermitente por el uso del *Maxiclapper* excepto en la zona de los 15 000 Hz 16 000 Hz, frecuencia sobreaguda, que funciona mejor sin *Maxiclappers*. Ver Figura 48.

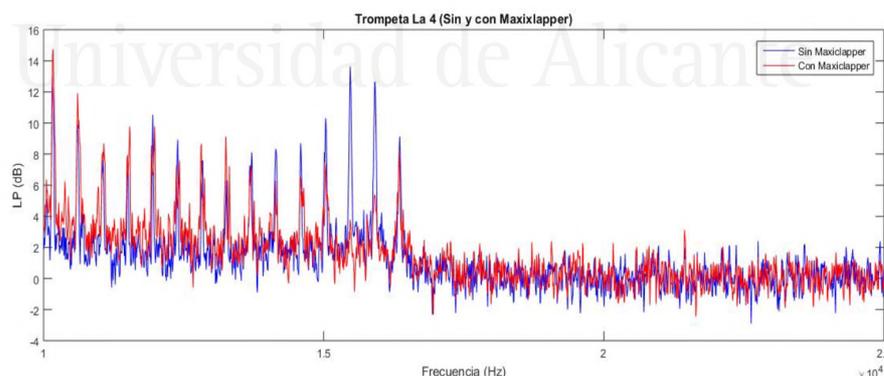


Figura 48: La 4 con y sin Maxiclapper- Bomba cuadrada.

- Sib5 Figura 49– Volvemos a ver que en las frecuencias iniciales todos los casos analizados se comportan del mismo modo hasta aprox. los 3 000 Hz. Y a partir de ahí presentan un aparente desplazamiento de sus armónicos pudiendo afirmar que para este tono en la zona superior (13 000 Hz a 16 000Hz) funciona mejor sin los *Maxiclappers*.

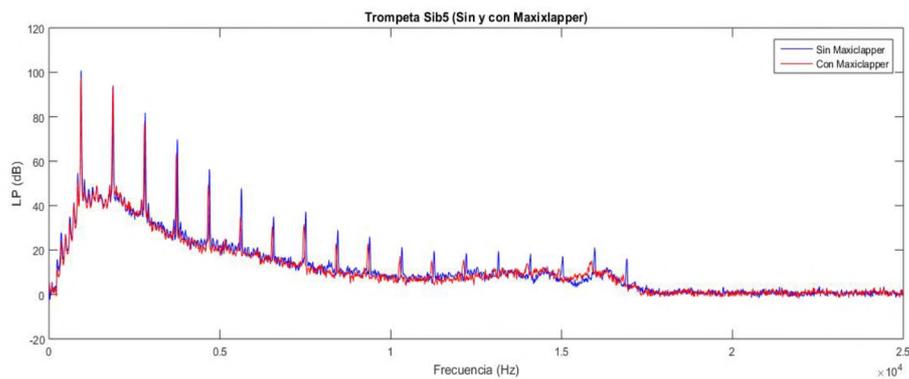


Figura 49: Sib 5 con y sin Maxiclapper- Bomba cuadrada.

2.6.2.1.4 *Discusión*

Aunque quizás no hayamos sido capaces por diversas circunstancias de obtener resultados taxativos y esclarecedores, creemos que existe un condicionante muy fuerte que estriba en la experiencia previa del intérprete con los *Maxiclappers*. En principio es un accesorio que muestra a nivel de interacción con el intérprete un aumento de masa no despreciable con la consiguiente repercusión en la respuesta frecuencial de la impedancia del instrumento, eso es evidente. Y por otra parte su bondad está supeditada a que el intérprete sepa, encuentre o active la parte resonante que se pretende como guía a la amplificación de la cola armónica y así engrandecer el timbre del instrumento. Esta última cuestión, que podría conllevar una cierta reeducación en la forma de abordar la ejecución de cada nota, es o ha sido nuestro caballo de batalla.

Como se ha comentado al principio; de los dos trompetistas profesionales que han realizado las grabaciones uno es experto en el uso y desarrollo de los *Maxiclappers*, y el otro no era experto en el uso de dichos dispositivos. Con ello, se pretendía demostrar no sólo la acción de los resonadores, sino la necesidad, en el caso de que se demostrara su utilidad, de una formación o proceso de adaptación a éstos para saber usarlos.

Los resultados mostrados en la Figura 48 y Figura 49 muestran como el mismo intérprete es capaz de accionar o no los resonadores según las frecuencias. Este nos comentaba que se sentía algo incómodo y le resultaba difícil encontrar o escuchar los parciales resultantes de la fundamental, lo cual es síntoma de afinación y calidad armónica según Dudley y Strong (1990). La incomodidad desapareció con solo cambiar la bomba general cuadrada por una redonda que le ayudara al paso del aire y con la que tenía mejores sensaciones. Todas las notas que evaluamos con esta disposición fueron favorables a la

acción resonadora de los *Maxiclappers* como complemento de amplificación e intensidad de la serie armónica (véase los resultados recogidos en las Figura 44-44 y Figura 42-40).

Por otro lado el intérprete acostumbrado al uso de los *Maxiclappers* siempre era capaz de sonar mejor con ellos tal y como muestran la Figura 45, Figura 46 y Figura 47. Hay que añadir el matiz de que los niveles con y sin *Maxiclapper* no son idénticos en ambas figuras, por lo que las mejoras habría que relativizarlas al nivel obtenido para la frecuencia fundamental. Esto es así pues resulta complicado controlar la intensidad sonora y ejercer siempre la misma presión intraoral, tal y como vemos en Vivona (1968).

En cuanto a la acción de los *Maxiclappers* se ha encontrado que tienen una zona inferior de no acción hasta los 3000 Hz aproximadamente, y una zona superior de no acción cercana a los 16000 Hz aproximadamente.

La zona de acción principal de los *Maxiclappers* la situamos aproximadamente entre los 5000 Hz y los 15000 Hz según los casos analizados (ver los resultados recogidos en las Figura 44-44). En estos parciales, los armónicos se comportan en los tonos estudiados con mayor intensidad y homogeneidad.

El artista juega el papel principal en la excitación de los *Maxiclappers*, no son resultados que validan una secuencia programada para todas las personas, sino más bien que si los *Maxiclappers* son excitados funcionan en beneficio sonoro y en estabilidad para el instrumentista. Es necesario por tanto que el instrumentista encuentre, como siempre, el instrumento o accesorios que se adapten a su forma de emitir.

Por otro lado, con la metodología aplicada en este artículo, no podemos afirmar que los *Maxiclappers* añadan cola armónica distinta a la del propio instrumento, su función consiste en amplificar, en su caso, las frecuencias de cada tono y no añadir frecuencias superiores a las de la frecuencia de corte del instrumento, siempre que el instrumentista los imposte correctamente.

El efecto de los *Maxiclappers* depende de la impostación del intérprete. Lograr emitir los tonos con la mayor amplitud en sus frecuencias armónicas puede ser variable en cada emisión si no se ejecuta esta a la perfección, con o sin *Maxiclapper*, es indiferente. El intérprete es el causante de la aparición y amplitud de todas las frecuencias armónicas. Si el intérprete emite correctamente, los armónicos cambian en algunas notas determinadas. Si se excitan convenientemente los *Maxiclappers* pueden actuar en favor del intérprete.

Cada instrumentista, en particular, ha de desarrollar la perfección en la inspiración, impostación e espiración para poder controlar la variabilidad en la aparición de la amplitud de las frecuencias armónicas. En los casos estudiados los *Maxiclappers* han sido

beneficiosos para los instrumentistas dependiendo de la bomba de afinación utilizada, de la intensidad y control intraoral así como de los tonos analizados



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

CAPÍTULO 3

LAS TIC EN EL AULA VIENTO METAL. UNA PERSPECTIVA DOCENTE

3.1 Resumen

Con el desarrollo de la tecnología de la información y de la comunicación (TIC), éstas se han incorporado casi instantáneamente a las ciencias físicas, tal y como se referencia en Pontes (2001) y Linn (2002), además, a la actividad docente en general, Capuano (2008). Gracias a la unión entre el sistema tradicional de aprendizaje y las TIC, se han dado nuevos contenidos y metodologías en la enseñanza física, según Kofman (2005) que se plasman y divulgan gracias a la creación de revistas, como, por ejemplo, Enseñanza de las ciencias (REC - Barcelona) o las Revista Electrónica de enseñanza de las ciencias (REEC-Vigo), entre otras.

Sin duda, el uso de las nuevas tecnologías es una realidad puesto que facilitan la aprehensión de conocimientos y multiplican el porcentaje de probabilidades de éxito en la educación del alumnado.

En el campo que nos atañe, la relación entre la acústica y las enseñanzas musicales, el uso de las TIC se hace todavía más necesario dado lo etéreo del sonido. Poder observar el sonido es la clave para que el alumno comprenda las orientaciones del profesor.

A pesar de la necesidad de unión entre ambas materias, la acústica musical y la educación musical, es muy leve la formación acústica que recibe el alumnado en la actualidad. Obviamente, con esta investigación no vamos a conseguir integrar la asignatura de acústica musical en el currículo de las enseñanzas profesionales de música, aunque sin duda esa es la solución a parte de las carencias de formación del alumnado. Con la presente investigación se pretende facilitar herramientas docentes de interés y utilidad para el aula de viento metal para que el alumnado pueda conseguir con éxito el dominio de la técnica y

capacidades sonoras y expresivas del instrumento. Estas herramientas didácticas surgen como consecuencia del uso de las nuevas tecnologías emanadas de la acústica musical.

Como decíamos anteriormente, el fenómeno sonoro es un hecho intangible y dada su idiosincrasia, los conceptos abstractos dificultan la profundización en el aprendizaje.

A lo largo de las enseñanzas musicales el contenido de la asignatura principal de los aerófonos de metal es acumulable, es decir, no se trata de explicar nuevos contenidos sino, profundizar en ellos. Por ello, si se debe hablar sobre el sonido, a ciertas edades resulta complicado entender conceptos abstractos como la estabilidad de la columna del aire y la calidad del sonido. El uso de las TIC se hace imprescindible si queremos profundizar en el aprendizaje de los contenidos abstractos con éxito.

Seguidamente, pasamos a mostrar una relación de contenidos en la que el uso de las nuevas tecnologías materializa el fenómeno sonoro, agilizando el proceso de enseñanza aprendizaje debido a la unión de los sentidos auditivo y visual.

3.1.1 Introducción. Uso de las TIC en la práctica docente

Las TIC facilitan la aprehensión de los contenidos y favorecen el aprendizaje significativo dado que son capaces de representar de forma dinámica o estática algo tan efímero como el sonido. Sin duda la conjunción dual oído-vista junto con las indicaciones de profesor elevan el porcentaje de éxito del alumnado para la consecución del objetivo propuesto, que es: dominar en su conjunto la técnica y las capacidades sonoras y expresivas del instrumento. Cabe destacar que existe una carencia de bibliografía específica al respecto. En este trabajo se ha constituido un conjunto de referencias de consulta basadas en los programas *Spears* y *Audacity* con los que se han desarrollado los nuevos recursos y herramientas docentes.

3.1.2 Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Conexión de contenidos entre la acústica musical y las enseñanzas de viento metal con el uso de las TIC

La evolución temporal del sonido y el análisis del espectro armónico son los ítems que nos sirven para enlazar la acústica y los contenidos docentes que se imparten en el aula de música de viento metal. Se utiliza el *Software Audacity* para observar la evolución temporal del sonido, su estabilidad y la presión sonora. Y con el *Software Spears* se muestra la calidad del sonido en función del espectro armónico, lo que nos aporta información sobre la

afinación del ataque, la estabilidad sonora, amplitud de los parciales, así como la posible inarmonicidad de los mismos.

Estos aspectos, fruto del análisis acústico y que se relacionan directamente con las características técnicas que el alumno ha de conseguir en su relación con el instrumento, se desarrollan con la investigación titulada “Recursos didácticos para el desarrollo de la calidad del sonido en los alumnos de viento metal” (Esteve-Rico et al., 2016d). En este trabajo se muestra cómo usar los *Software* propuestos, *Audacity* y *Spear*, para trabajar los contenidos propios de los instrumentos de viento metal.

En esta investigación el porcentaje de mejora en el alumnado evaluado fue positivo en todos los casos, quedando demostrado que el uso de las nuevas tecnologías es una herramienta imprescindible como estrategia docente en el aula de viento metal. Las mejoras más significativas se produjeron en la estabilidad del tono, en la presión sonora y en la continuidad de la columna del aire con las articulaciones propuestas.

3.1.3 Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Análisis y caracterización del sonido

A lo largo de la experiencia docente personal en el aula del conservatorio se observa que es usual que los alumnos cometan errores en su forma de abordar la ejecución de los ejercicios propuestos, dichos errores o vicios se deben corregir desde el principio, porque de lo contrario se enquistan y luego son costosos de corregir. Nuestra propuesta es: primero identificar qué características acústicas pueden definir dichos errores para después poder comparar con lo que se define como correcta ejecución.

Se ha podido establecer que existen diferencias fehacientes que caracterizan y retratan los diferentes sonidos del alumnado. En esta investigación se pretende determinar y caracterizar estas diferencias. Para ello se ha utilizado un sonido impostado y que tomamos como correcto, y se ha comparado con el resto de los sonidos y emisiones que se dan asiduamente en la realidad el aula de música de viento metal.

El trabajo desarrollado se centra en el trombón de varas, pero es extrapolable al resto de aerófonos de la familia de metal. La principal información se muestra en: “Estudio de los errores más comunes en la ejecución del tono Fa₃ en los instrumentos de viento metal: análisis y caracterización acústica para su aplicación docente”, presentado en el congreso de Tecniacústica- Galicia (Esteve-Rico y Vera, 2017b).

Los resultados evidencian que un sonido impostado (correcto) se caracteriza por: ser estable en su evolución temporal, sin fluctuaciones; afinado desde el momento de la articulación, que es el más problemático, con una presión sonora constante, y con factores que determinan la calidad del sonido como las resonancias de sus parciales y la escasa inarmonicidad que estos presentan.

A partir de este modelo, encontramos sonidos con articulaciones erróneas y en consecuencia con niveles dispares respecto a los valores establecidos en el sonido impostado. Así como otros sonidos con desafinaciones y fluctuaciones importantes en la evolución temporal del sonido con la consecuente relación de valores en respecto al patrón establecido. Estas diferencias objetivables con el análisis que se hace con el *Audacity* y el *Spear*, nos ayudan a que el alumno comprenda al visualizar de forma objetiva los resultados la importancia que tiene la posición de la lengua o los dientes, por ejemplo, a la hora de acometer un determinado ejercicio.

Se evidencia que el método propuesto enriquece las indicaciones del profesor que sin el apoyo de las TIC propuestas tan solo dispone de su criterio personal y subjetivo para valorar el sonido del alumnado. Además, el problema que se resuelve a largo plazo es evitar que el alumno se familiarice a su propio sonido erróneo al no llegar a comprender en que se traduce su supuesta mala ejecución e ignore por las orientaciones del docente. Es por ello la importancia que en este tipo de enseñanza adquieren las TIC, pues aportan información complementaria imprescindible para el alumnado y además los forman en los términos necesarios para saber de qué depende la calidad del sonido y cómo se representa.

3.1.4 Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Nuevas herramientas docentes

A lo largo de la investigación que hemos realizado en este capítulo, para evaluar la calidad del sonido con el uso de las TIC, aparte del *software* referenciado nos hemos servido de dos instrumentos accesorios que formarían parte del *hardware* como nuevas herramientas docentes. Estas son el manómetro de presión y el accesorio *Upsound*.

Con el análisis de la presión intraoral se pueden detectar anomalías que influyen en la calidad del sonido. Este análisis viene a reforzar la evaluación del espectro armónico pues este depende de la presión que cada persona ejerza. La dificultad añadida a la que nos enfrentamos es que el estudio se debe de hacer de forma individualizada pues cada persona tiene una presión intraoral característica. Para evaluar los resultados partimos de una tabla

o modelo de presiones intraorales esperadas y estudiamos las desviaciones que más se alejan del patrón establecido.

La otra herramienta o accesorio que se utiliza a lo largo de los artículos y en el que ahora nos centramos es el *Upsound*. La cualidad principal de este utensilio es que favorece el proceso de cierre-apertura de los labios durante la vibración. Esto es debido a que ofrece resistencia al paso del aire mediante un filtro. Además, esta resistencia acumula una mayor presión intraoral y sirve para ejercitar los resonadores intraorales y la glotis con apertura restringida. En líneas generales, se puede resumir que el aditamento del *Upsound* a la boquilla viene a paliar la ausencia de la resistencia, que hace el cuerpo del instrumento real, durante los ejercicios típicos que se realizan con boquilla sola. De este modo el intérprete al tocar de nuevo el instrumento completo ya está preparado por similitud para acometer la resistencia al flujo de aire en una situación real.

Un ejemplo sobre el uso y aplicación de estas herramientas en el aula docente lo encontramos en el artículo titulado “Desarrollo de la calidad Sonora en los instrumentos de viento metal en función de la presión intraoral”, presentado en 2017 por conferencia virtual en la UNED, Madrid (Esteve-Rico y Vera, 2017a).

Los principales resultados de esta investigación determinan, como ya se ha dicho, que la presión intraoral es una excelente medida para detectar anomalías en el sonido. Estas rarezas, en cuanto a presión intraoral, coinciden con el análisis de su espectro armónico, y juntos son una excelente propuesta para evaluar la calidad del sonido.

Por otro lado, al añadirle a la boquilla el accesorio *Upsound*, este cumple su función de trabajar la musculatura peribucal y gracias al exceso de presión intraoral, trabaja el uso de los resonadores intraorales y de la apertura glotal restringida en la mayoría de los alumnos. Aunque también hay que resaltar que un porcentaje relativamente bajo no notan diferencia entre su uso y no, y para otros, el uso del *Upsound* y la resistencia que este acarrea le resulta contraproducente.

Además, este artículo se suma a lo propuesto en Esteve-Rico y Vera (2017a) y demuestra que el uso de las TIC es una herramienta imprescindible para conseguir que el alumnado desarrolle las capacidades necesarias para dominar en su conjunto la técnica y capacidades sonoras y expresivas del instrumento. Finalmente, las TIC son la mejor herramienta para con las orientaciones del profesor objetivar la evaluación de la calidad del sonido en el aula de viento metal.

3.2 Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Conexión de contenidos entre la acústica musical y las enseñanzas de viento metal con el uso de las TIC

Uno de los objetivos de esta investigación es facilitar al alumnado el dominio de la técnica y capacidades sonoras y expresivas de los instrumentos de viento metal. Dicho de esta forma parece que el objetivo a trabajar es muy general, pero si perfilamos el citado objetivo obtenemos la siguiente relación de objetivos que componen la denominada técnica y capacidades sonoras del instrumento.

- Trabajar la respiración diafragmática
- Mantener la columna del aire y la calidad del sonido estable
- Respetar la afinación
- Trabajar la coordinación del aire, lengua y vara a lo largo de todo el registro.

Los anteriores objetivos constituyen, a *grosso modo*, el modo de aprendizaje de cualquier instrumentista a lo largo de la formación actual. Es aquí donde queremos complementar con el uso de las TIC la formación tradicional. Gracias al *Software* de libre acceso como *Audacity* y *Spears* podemos representar y analizar el sonido. La unión de las indicaciones del profesor, con la imitación auditiva y visual, acelera el proceso de aprendizaje, tal y como veremos en los siguientes puntos. Los anteriores objetivos se convierten en los siguientes contenidos con el uso de las TIC:

- Trabajar la respiración diafragmática. Con el uso del *Software Audacity* se pueden crear tantos patrones de inspiración y a tantas velocidades como el profesor estime oportuno. Además, como complemento existen accesorios como la bolsa de respiración, la boquilla *ultrabreathe*, *breathe Toy*, *inspiron* o *respiro tri ball*, entre otros, que mejorarán nuestro rendimiento en los ejercicios de respiración.
- Mantener la columna del aire, la calidad del sonido y respetar la afinación. Gracias al programa *Audacity* podemos observar en la pantalla del ordenador cómo evoluciona la columna del aire sonora, y establecer patrones o modelos de esta para que el alumno pueda copiarlos. Además, con el *Software Spears* podemos valorar la calidad del sonido en base a su espectro armónico. Las resonancias de los parciales inferiores y superiores, la inarmonicidad, la estabilidad temporal y la afinación determinan la calidad del sonido.

- Trabajar la coordinación del aire, lengua y vara en todo el registro sonoro. Con el *Software Audacity* se puede observar muy fácilmente el tiempo que tardamos en estabilizar el sonido y si este mantiene la relación con la columna de aire continua y estable.

La anterior relación de objetivos y contenidos con el uso de las TIC se ha desarrollado en el artículo que presentamos seguidamente.

A continuación, se muestran los resultados de la investigación relacionada que ha sido publicada y presentada en el congreso EDULEARN en el 2016 en Barcelona (Esteve-Rico et al., 2016d) y en el I Congreso Internacional de Psicología de la educación y la Interpretación musical celebrado en Madrid CONMUSICA en el 2017 (Esteve-Rico 2017a).

3.2.1 Recursos didácticos para el desarrollo de la calidad del sonido en los alumnos de viento metal

El objetivo del presente estudio es desarrollar los recursos didácticos para facilitar la aprehensión de la técnica y explorar las posibilidades sonoras en el alumnado de la especialidad de viento metal, a través de la Tecnología de la información y la comunicación (TIC).

3.2.1.1 Introducción

En el ámbito docente y especialmente en las enseñanzas artístico-musicales, resulta habitual aprender por imitación. El docente aprovecha de este instinto primario, inherente en los seres humanos y de gran valía, puesto que, con la imitación, involuntariamente interiorizamos la propia prosodia del diálogo musical y se favorece el desarrollo auditivo. El uso de este procedimiento bajo las orientaciones del profesor es el modo tradicional de enseñanza que se utiliza para desarrollar las cualidades musicales de los alumnos.

Actualmente gracias a las Tecnologías de la Información y de la Comunicación⁴², además, podemos complementar el citado proceso tradicional de aprendizaje haciendo uso nuevos recursos didácticos, implementando herramientas de análisis acústico-visual del sonido, que favorezcan el desarrollo y comprensión del fenómeno sonoro en los alumnos de la especialidad de viento metal. Para llevar a cabo este proceso utilizaremos herramientas *Software* para la visualización de la forma de onda y el análisis espectral del sonido

⁴²A partir de ahora nos referiremos a ellas como TIC.

apoyándonos en el sonido grabado de los ejercicios realizados en el aula, y que veremos seguidamente.

En definitiva, se trata de aunar el sentido auditivo con el visual para de esta forma orientar al alumnado hacia una reflexión más profunda, objetiva e intuitiva que le encamine hacia el control de la técnica y a descubrir la interrelación entre instrumento e intérprete. Se podría decir que el alumno podrá comprender con objetividad, a partir de la experiencia, las posibilidades sonoras del instrumento.

3.2.1.2 Contexto

En el contenido principal de este artículo mostramos recursos didácticos basados en la TIC para la consecución del primer punto de los objetivos definidos en el Real Decreto 1577/2006 de 22 de diciembre (Real Decreto 1577/2006, 2006), el cual regula las enseñanzas profesionales de música para la especialidad de viento metal (trombón, trompa, trompeta, tuba). Este, cita textualmente que los alumnos deberán:

a) Dominar en su conjunto la técnica y las posibilidades sonoras y expresivas del instrumento.

Por técnica y capacidades sonoras entendemos el uso adecuado de la respiración y músculos peribucales para controlar la emisión del tono, afinación, presión sonora, estabilidad de la columna del aire y articulación; en definitiva, la calidad del tono.

Es evidente que las capacidades expresivas están interrelacionadas con el aprendizaje significativo, Ausubel (1976) y Moreira (2010), puesto que existe una dependencia *sine qua non* entre el crecimiento de la capacidad expresiva, creadora e interpretativa del alumnado y el dominio y conocimiento previo de la técnica y las propiedades sonoras del instrumento.

Desarrollar la técnica en la emisión del sonido y su calidad no sólo es un requisito regulado e indispensable para poder superar las enseñanzas profesionales, sino que este, el sonido; es la seña de identidad de cada persona, la característica que nos diferencia, singulariza y el objetivo prioritario que se abarca y profundiza diariamente en el aula de viento metal. Tal y como afirma Pierce (1985) en su trabajo *Los Sonidos de la Música*:

«El estudio del sonido musical es importante sólo porque la música lo es y porque la calidad del sonido es importante para la música».

La nueva herramienta docente que se quiere implementar tiene su fundamento en el discurso teórico-práctico en el que se basa el profesor para desarrollar en el alumnado la calidad del sonido.

Tradicionalmente el docente de viento metal utiliza la imitación, como ya se ha puntualizado anteriormente, junto con la exposición teórica para enseñar a los alumnos la técnica de emisión y en qué consiste la calidad del sonido. Para ello se utilizan principios teóricos clásicos basados en la inspiración, impostación, articulación y espiración, que se complementan con una serie de ejercicios específicos para trabajar la calidad sonora como por ejemplo la práctica de notas largas y el trabajo del canto y de la boquilla. A partir de este principio, el alumno imita y experimenta sobre los criterios y patrones sonoros expuestos por el profesor. Imitar sonidos y repetir de nuevo tras escuchar las correcciones del profesor es sin duda un aprendizaje que requiere un gran esfuerzo tanto por parte del alumno como del profesor debido a la gran subjetividad inherente al método usado, puesto que se basa solo en juicios valorativos sobre el sentido auditivo, tanto del profesor como del alumno, que adolece de una escala objetiva de sensaciones y se puede decir que evanescente, pues un sonido es tal mientras seamos capaces de percibirlo, después desaparece.

Nuestro trabajo pretende facilitar este proceso, y para ello se apoya en la percepción visual como apoyo a lo auditivo y redundando sobre él. Todo ello lo basamos en el uso de los editores de audio de dominio público actuales, mostrando al alumno cual debe ser la forma del sonido en una representación física temporal tanto estática como dinámica. Se observa qué es lo que se debe imitar y cómo debe de sonar, y al mismo tiempo el alumno puede ver en otra pista de audio qué es lo que él está realizando. El papel del profesor pasa de ser un juez valorativo subjetivo a ser un orientador y un maestro formador objetivo.

Elaborar un material docente con el uso de las TIC que conjugue la forma tradicional de aprendizaje con la inmediatez de las herramientas audiovisuales, creemos que es una manera efectiva de conducir al alumnado hacia el control de la técnica instrumental y los recursos sonoros con mayores cotas de posible éxito, y constituye una forma novedosa de aprendizaje significativo en el aula de viento metal.

3.2.1.3 Método

El método propuesto para elaborar los recursos didácticos se basa en relacionar las variables técnicas especificadas en la sección 3.2.1.5 y que se trabajan habitualmente en el aula, con los resultados audiovisuales que se extraen de las herramientas informáticas. Recordemos que los objetivos a trabajar, a través de las TIC, son que el alumno comprenda y evolucione en la técnica y capacidades sonoras y expresivas del instrumento.

3.2.1.4 *Muestra*

A lo largo del 2017, se han llevado a cabo medidas experimentales en las aulas de viento metal del Conservatorio Profesional de Música de Sabiñánigo (Huesca), así como en diferentes cursos instrumentales de verano celebrados en las localidades de Villena, Alcira, Valderobres y la comarca de los Monegros. Con ello se han obtenido un total de 102 grabaciones. Las figuras que mostramos al largo del presente estudio, que postulamos como modelo y que usamos como ejemplo para valorar los resultados, se eligen de forma que aúnen y representen los estándares bajo estudio.

Se han seguido los procedimientos conformes a las normas éticas institucionales, locales y nacionales, por ello para preservar el anonimato del alumnado, las muestras obtenidas no hacen referencia ni alusión a personas, que ha participado en el proceso de grabación voluntariamente y bajo el permiso de los padres en aquellos alumnos menores de edad.

En otro orden de cosas, se ha tenido especial cuidado en cuanto a: la posición relativa del instrumento al micrófono y al nivel de presión sonora con el fin de asegurar la uniformidad de las medidas realizadas.

3.2.1.5 *Instrumentación*

En la Figura 50 (Izquierda) se muestran en general los dispositivos de captura utilizados para llevar a cabo la experiencia y que se detallan seguidamente.

- Afinador (app para móvil n-TrackTuner)
- *Upsound*⁴³ (Stomvi). Ver detalle en Figura 50 (Derecha).
- Micrófonos de medición *Behringer*.
- Tarjeta de sonido *Alesis io2* para la adquisición de datos.
- Sonda de presión diferencial *PCE-P01/05*, para determinar la presión intraoral y así buscar patrones que se correlacionen con los esfuerzos musculares en la embocadura durante el proceso de la producción de las notas por la vibración de los labios.
- *Software dBFA32de 01dB-Estell*, para el procesado y análisis de los datos obtenidos.

⁴³*Upsound*. Dispositivo fabricado por la firma Stomvi, el cual tiene las mismas funciones en el intérprete que el trabajo con la boquilla (desarrollo de la respiración, afinación y musculatura peribucal), pero con una resistencia añadida al paso del aire.

- *Software Spear* para la edición y análisis de parciales.⁴⁴
- Editor de audio *Audacity AudioMonitor2.1.2* con el que se han creado los modelos de trabajo sobre estabilidad de sonido y articulación.⁴⁵

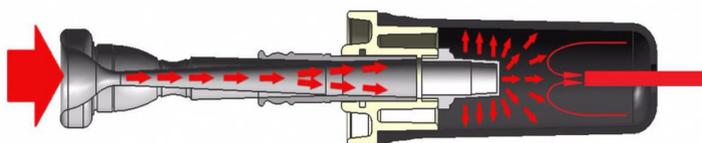


Figura 50: (Izquierda) Disposición material utilizado. (Derecha) Demostración del funcionamiento del accesorio Upsound unido a la boquilla.

La relación de variables a trabajar con el uso de las TIC es la siguiente:

A.- Respiración y musculatura peribucal / *Upsound – Software dBFA32*

Para trabajar la respiración usaremos ejercicios extraídos de la bibliografía específica⁴⁶, y dispondremos de un accesorio *Upsound* que se acopla a la boquilla, y que según se puede leer en su página web⁴⁷ favorece el desarrollo y control de los resonadores intraorales, apertura glotal y musculatura peribucal encargada de la emisión del tono. Se valorará la eficacia de los ejercicios que se realizan habitualmente con la boquilla: con y sin el uso del *Upsound*.

B.- Emisión del sonido, articulación, estabilidad y presión sonora / *Software Audacity*

⁴⁴Klingbell, M. (2008). Sinusoidal Partial Editing Analysis and Resynthesis for MacOS X, MacOS 9 and Windows. El *Software* se puede descargar de forma gratuita en: http://www.klingbeil.com/Spear/downloads/files/SPEAR_latest_setup.exe.

⁴⁵Mazzioni, D. y Dannenberg, R. (2016). GNU General PublicLicense (GPL). *AUDACITY®*. El *Software* se puede descargar de forma gratuita en: <http://www.Audacityteam.org/download/>.

⁴⁶Pilafian, S. & Sheridan, P. (2002). *The breathing gym*. Arizona: focus on music. Zi, N. (2006). *El arte de respirar. Seis sencillas lecciones para mejorar la salud, la interpretación artística y el rendimiento atlético*. Madrid: Arkano. Nelson, B. (2006). *Also, sprach Arnold jacobs. A developmental guide for brass musicians*. Illinois: Windsong.

⁴⁷Upsound. (2017). Upsound Stomvi. Recuperado de: <https://stomvi.com/es/stomvi/noticias/766-stomvi,-distribuidor-oficial-de-Upsound>

Gracias a la evolución temporal del sonido podemos observar en cada alumno la estabilidad, proporción dinámica o retención de la lengua en la emisión del tono y sus posteriores articulaciones.

C- Afinación y calidad del sonido / *Software Spear*

Para comprobar la afinación, estabilidad del tono, ruido entre los parciales, intensidad de los parciales y la frecuencia de corte usaremos el *Software Spear*. Es un excelente indicador, una herramienta imprescindible para controlar la calidad del sonido.

3.2.1.6 *Procedimiento*

Las variables establecidas anteriormente se trabajan inicialmente con el editor de audio de libre acceso *Audacity*, gracias al cual el alumno puede ver una perfecta representación visual del fenómeno sonoro. Para ello, será necesario abrir en el programa dos pistas de audio. Una para el profesor, el cual establece un patrón sonoro o modelo que pretende conseguir en el alumnado, y una segunda para que el alumno experimente y aplique los conocimientos teóricos previos, la imitación auditiva y visual.

Una vez tenemos el sonido grabado, para comprobar la calidad de este procederemos del siguiente modo. Primeramente, guardaremos la grabación del *Software Audacity* en formato “.wav” y posteriormente lo editaremos con el *Software Spear* donde visualizaremos la composición tonal e intensidad de parciales. Con este análisis podremos explicar al alumno aquellas cualidades que determinan la calidad del sonido como: parciales inferiores y superiores, intensidad, ruido entre parciales, frecuencia de corte, fluctuaciones, afinación y articulación.

3.2.1.7 *Hipótesis*

Ahondar en el aprendizaje sobre conceptos abstractos, tal como los musicales, resulta complicado dada la propia idiosincrasia intangible de dichos conceptos. En este campo las nuevas tecnologías pueden materializar lo que hasta hace unos años era casi imposible, y gracias a ello favorecer el aprendizaje significativo en el alumnado. La hipótesis principal que sostenemos es lograr que el alumno comprenda y evolucione en la técnica y capacidades sonoras y expresivas del instrumento gracias al uso de las TIC. Para la consecución de esta hipótesis desarrollamos un sistema para el estudio, análisis y valoración de las variables con las que poder medir la eficacia de la investigación.

3.2.1.8 Resultados

A.- Respiración y musculatura peribucal / *Upsound* – Software dBFA32.

Proponemos la conveniencia el uso del *Upsound* como alternativa de mejora para los ejercicios de estudio con boquilla. Si comparamos dos muestras, ambas con un valor de cuadrada, con el programa dBFA32.

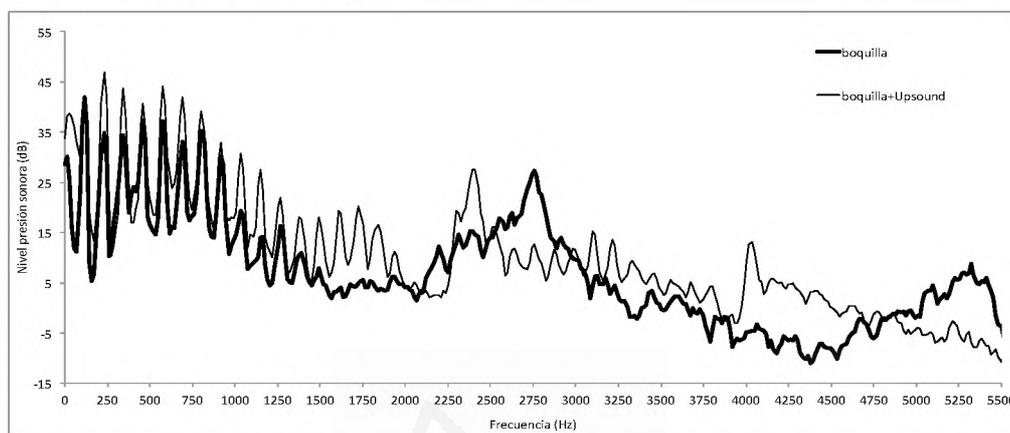


Figura 51: Alumno 5 – Comparativa– Sib2 con boquilla 17.4 mbar (línea gruesa) y boquilla más Upsound 20.3 mbar (línea fina).

Se puede observar en la Figura 51 que al añadir el *Upsound* a la boquilla, se consigue mejor definición armónica durante la ejecución de un tono, en este caso Sib2. Lo que se puede interpretar como que los labios vibran mejor si tienen una resistencia que le facilite el proceso vibratorio. Dicha resistencia (*Upsound*) provee una sensación más cercana a la que se tiene con el instrumento completo, siendo un elemento esencial para que el intérprete pueda aprender controlar la salida del aire. Debemos remarcar que por encima de 2000 Hz existe un desplazamiento de máximos remarcados; esto es debido a que el *Upsound* dota de una longitud mayor al sistema y además añade también una pequeña cavidad resonante.

También hemos comparado, con el manómetro, la presión intraoral entre el ejercicio con boquilla sola y boquilla más *Upsound*. Y aunque cada persona tiene una presión intraoral propia (Vivona, 1968), existe una correlación entre los resultados obtenidos. Partimos de la idea de que la resistencia ofrecida al flujo de aire varía con el tipo de embocadura produciendo un efecto variable de impedancia reflejada sobre el tracto vocal y la laringe (Pawlowski y Zoltowski, 1999). Se puede observar que obtenemos mayor presión intraoral con el trabajo del *Upsound*, lo cual se traduce en un paso de aire más lento.

Si añadimos a lo dicho en el párrafo anterior la idea de que los labios funciona mejor con una resistencia (*Upsound*), dado que nos facilita el control de la salida del aire desde la apertura glotal restringida, Mukai (1989), y de que esta resistencia nos obliga a pasar el aire

más lento: obtenemos la conclusión de que es apropiado el uso de la boquilla con una resistencia para el estudio de las notas largas. En aquellos alumnos con problemas de retención (dificultad de emitir a voluntad del intérprete), esta resistencia puede ser contraproducente. Es deber del docente saber utilizar esta información bajo su criterio.

B.- Emisión del sonido, estabilidad y presión sonora / *Software Audacity*.

SECUENCIA



Figura 52: Esquema de la secuencia utilizada.

Ejemplo 1. Se va a utilizar el accesorio *Upsound* para trabajar la estabilidad del sonido en el *Software Audacity* con la siguiente secuencia, ver Figura 52.

De los 102 alumnos analizados 90 de ellos consiguieron alguna mejora en la estabilidad del tono, presión sonora y riqueza de armónicos tras el paso por el *Upsound*. En cambio, en 12 de ellos no hubo mejora alguna o significativa.

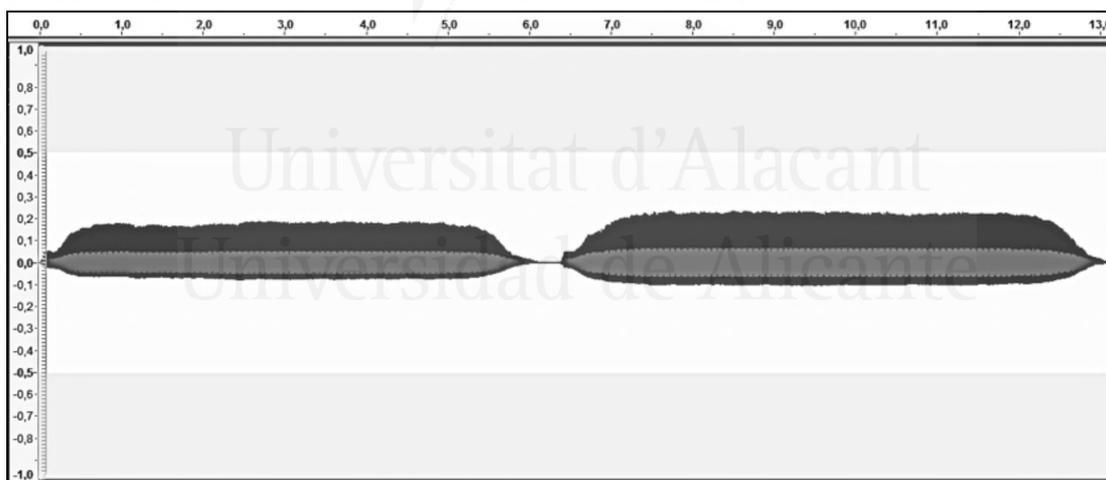


Figura 53: Alumno 62. Resultado de la secuencia descrita al analizar con el Audacity la evolución temporal del sonido. El eje vertical representa la amplitud en unidades arbitrarias y el eje horizontal el tiempo en segundos.

En la Figura 53 podemos observar la evolución del sonido al analizar la primera y última nota de la secuencia descrita. En esta representación se muestra la amplitud normalizada en el eje vertical frente al tiempo en el eje horizontal. En la Figura 54 se puede comprobar que existe un cambio de dinámica (presión sonora) en el segundo sonido y que este a su vez es más estable que el primero. El cambio de dinámica es entendible puesto que

el *Upsound* trabaja en base a una resistencia y al usar el instrumento que tiene menos resistencia, el paso del aire es más fácil.

B.1.- Se va a realizar un análisis de los elementos propuestos usando una plantilla creada con el *Software 'Audacity'*. En la Figura 53 se puede observar, en la primera pista, un modelo representativo sobre la emisión, articulación, presión sonora (dinámica) y estabilidad del sonido desarrollado por el docente y así como la evolución del alumno hacia la estabilidad y control del sonido en las siguientes pistas.

Para establecer el patrón sonoro solo necesitamos darle al botón grabar. Tras establecer el patrón sonoro, se crearán tantas pistas como necesite el alumno clicando en el ítem pistas. El profesor orientará a alumno en base a los resultados de la evolución temporal del sonido sobre la articulación, dinámica y estabilidad del sonido. Es de gran importancia controlar la afinación, distancia del instrumento a la fuente de grabación y la presión sonora para poder equiparar las diferentes pistas.

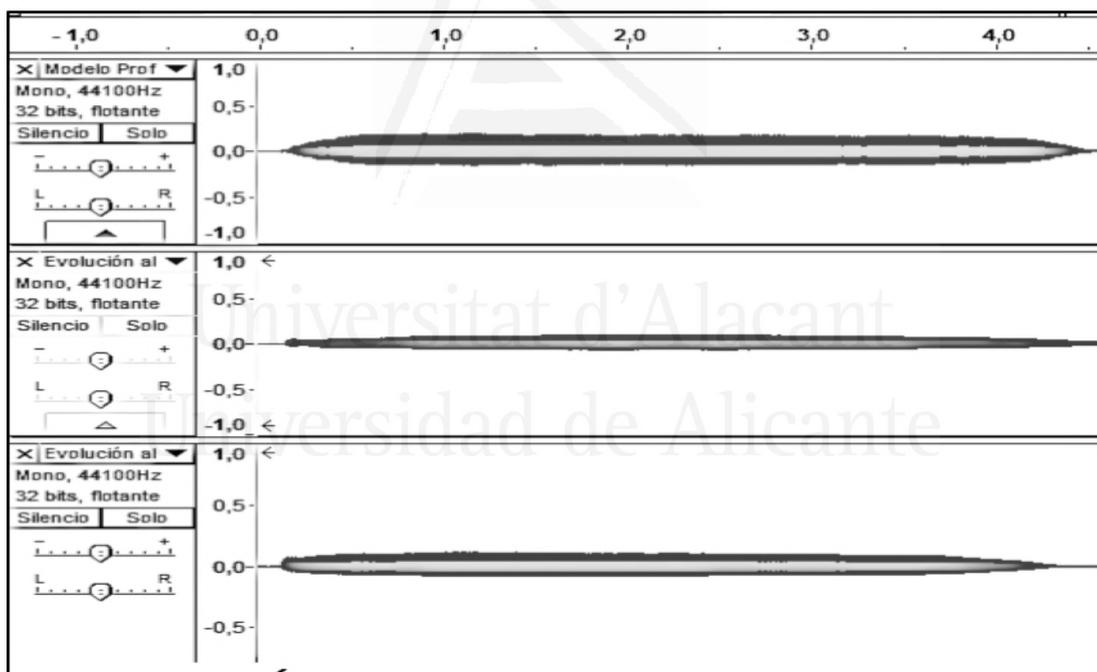


Figura 54: Evolución temporal del sonido para alumno 102.

Trabajar la estabilidad sonora y la articulación con el *Software Audacity* tiene un porcentaje de satisfacción muy alto puesto que en los 102 alumnos hubo mejoras significativas. En base al modelo propuesto, el alumno experimenta con su sonido y es capaz de imitar el modelo con las orientaciones del profesor. Sin duda, materializar o hacer tangible con este Software la teoría sobre la estabilidad del tono, articulación y dinámica

facilita en gran medida su consecución, tal y como evidencia la Figura 54 que tomamos como ejemplo.

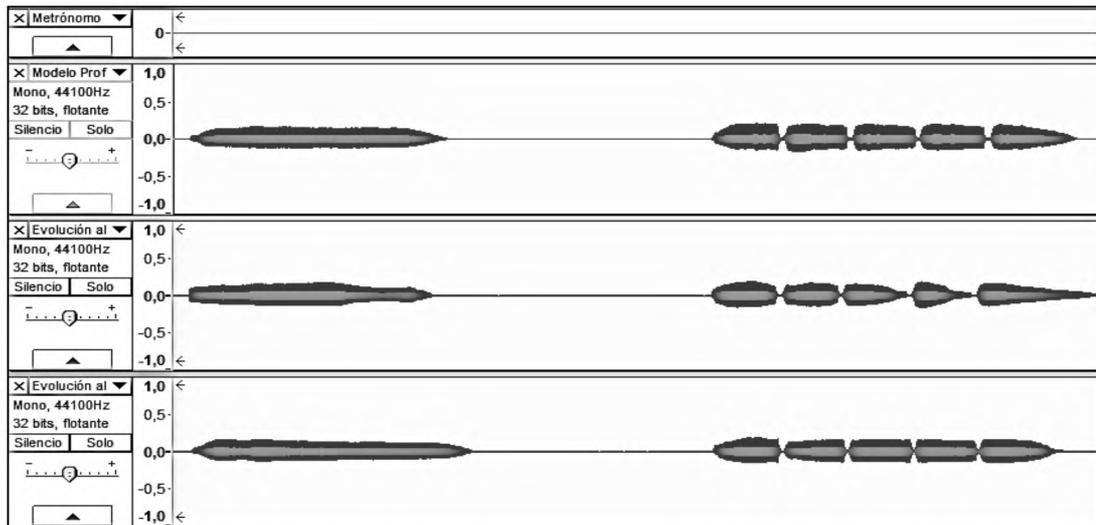


Figura 55: Evolución estabilidad sonora y articulación Fa3 para alumno 114.

B.2.- Profundizando en la idea de la estabilidad sonora, la articulación y la dinámica, el siguiente ejemplo trabaja la columna del aire sobre la articulación de negras. El objetivo es mantener la similitud entre la estabilidad del tono que tenemos en los valores largos y los valores de negra, en este caso. Véase Figura 55

Se ha creado una pista con metrónomo (negra 60), que nombremos como cero, para escuchar con los auriculares. Nuevamente en la pista uno está el modelo a trabajar propuesto por el docente y en las siguientes la evolución del alumno.

Obsérvese la ausencia de relación entre el sonido continuo o nota larga y la estabilidad del sonido de las negras que ocurre en la pista dos, y la inmediata comprensión del objetivo a planteado y su consecución en la pista tres.

Aunque en la Figura 55 veamos un ejemplo representativo sobre el trabajo de la columna del aire con negras, con este programa se podrían editar tantos ritmos y velocidades de metrónomo como el docente desee trabajar.

C. Afinación y calidad del sonido / *Spear*. Como se ha citado, el *Software Spear* es una gran herramienta para comprobar la claridad del sonido, es decir, la afinación, estabilidad del tono, ruido entre los parciales, intensidad de los parciales y la frecuencia de corte. Por ello, y para explicar qué es la calidad del sonido deberemos guardar en formato *wav* la nota que deseemos analizar o comparar para de esta forma familiarizar al alumno con los términos que caracterizan el espectro armónico del sonido: parciales inferiores y

superiores, intensidad de los parciales, ruido, afinación, ataque o articulación, estabilidad, fluctuaciones y frecuencia de corte. Ver Figura 56.

La afinación la podemos observar fácilmente situando el cursor sobre el armónico fundamental como se puede observar en la Figura 56.

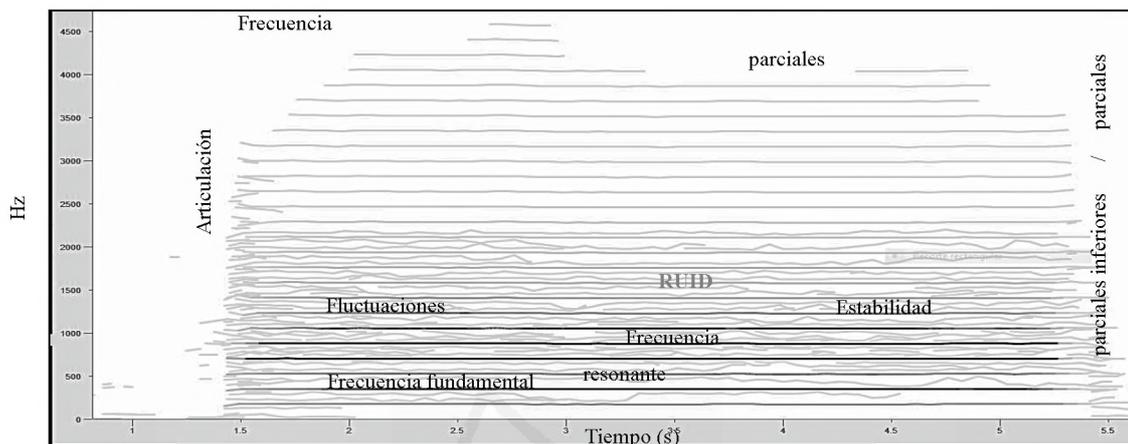


Figura 56: Esquema nombres del espectro armónico.

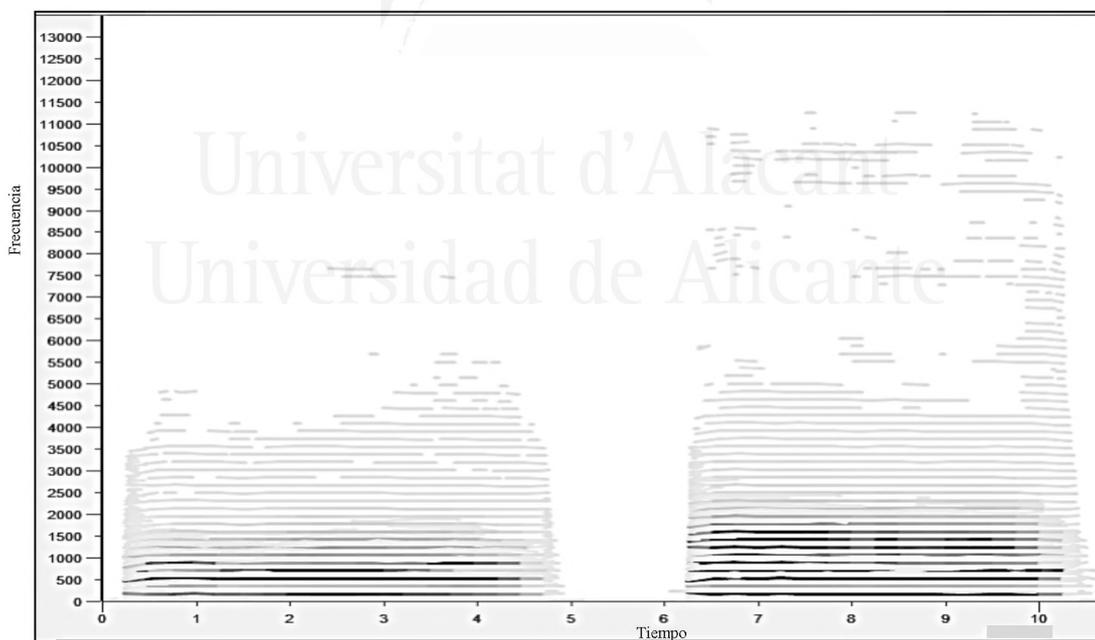


Figura 57: Comparativa espectro armónico alumno 112. Evolución pistas 2 y 3.

Con este programa nos resultará muy fácil comparar dos sonidos y facilitar al alumno la comprensión del concepto de calidad sonora. Por ejemplo, además de toda la información que se ha obtenido con el *Software Audacity*, si comparamos con el *Spear* la pista dos y tres

correspondiente al ejemplo representativo 102 de la Figura 54 obtendremos nuevas referencias sobre la calidad sonora. Véase Figura 57.

Al observar la progresión sonora que realiza el alumno con el *Software Spear*, es evidente que se ha mejorado inmediatamente la calidad del sonido como lo demuestran los valores de afinación en la articulación, frecuencia de corte e intensidad de los parciales, parciales. Este programa nos ofrece la posibilidad de valorar objetivamente la calidad del sonido, así como orientar la capacidad de orientar al alumnado con exactitud sobre las características que compendian la calidad del fenómeno sonoro específico.

3.2.1.9 *Discusión*

Materializar o hacer tangible con los *Software* estudiados la teoría sobre el desarrollo de la técnica y las posibilidades sonoras en los alumnos de viento metal aumenta las posibilidades de aprendizaje y de éxito en el alumnado según los resultados extraídos.

El control sobre la formación de la columna del aire o estabilidad sonora y la articulación mejora instantáneamente cuando se usa el *Software Audacity* pues el destinatario puede observar la forma de la onda sonora que emite.

Profundizar en el fenómeno sonoro y habituarnos a entender las características del espectro armónico es parte de nuestra labor como docentes, pues sin duda, la herramienta *Spear* nos facilita un juicio objetivo sobre la calidad del sonido analizado. Este conocimiento no debe ser una simple exposición teórica, sino, debe partir desde el análisis visual para facilitar la comprensión de los elementos que influyen en la calidad del sonido en el alumnado.

Pensamos que el objetivo estudiado es etéreo y difícil de asimilar con el método tradicional basado únicamente en la exposición teórica e imitación auditiva. Con la puesta en práctica de los recursos didácticos desarrollados con las TIC en el aula, el aprendizaje y consecución del presente objetivo resulta dinámico, atractivo, motivador y eficaz.

La principal inconsistencia del método propuesto reside en la necesidad de hacer uso de material didáctico con cierto grado de tecnología no habitual en el aula, puesto que adquirir una tarjeta de sonido y un micrófono supone un gasto extra, (sobre 150€). Por otro lado, si se piensa en las mejoras y facilidades que se ofrecen al alumnado sin duda es una inversión que se rentabiliza instantáneamente.

Facilitar el trabajo y asimilación de la técnica y las posibilidades sonoras en los alumnos de viento metal, no es sólo un objetivo didáctico, sino que tiene la importancia de

ser la conexión entre la técnica y la creatividad musical del alumnado. Sólo cuando el alumno adhiera a su forma de tocar los objetivos técnicos y sonoros establecidos, entonces, y sólo entonces, será capaz de expresar con corrección el sentimiento que le despierta la música.

3.2.1.10 Conclusiones

Tras la presente investigación se demuestra que el 100% del alumnado evaluado muestra alguna mejora en el dominio de la técnica y capacidades sonoras del instrumento dada el progreso en la estabilidad del sonido y el mantenimiento de la columna del aire en las diferentes articulaciones estudiadas, con su consecuente mejora en la calidad sonora. Esto es debido al uso de los programas que muestran la evolución temporal del sonido, y esta capacidad de mostrar modelos o patrones sonoros correctos, evidencian al alumnado el camino y les proveen de una orientación robusta y objetiva sobre lo que el profesor les ha indicado.

Además, se consigue profundizar en el concepto sonoro gracias a la materialización del sonido y en particular de su composición armónica. Demostrar que el sonido no es una entidad unitaria, sino que está compuesto por multitud de resonancias concordantes y discordantes que se distribuyen a lo largo del espectro armónico, y que la calidad sonora depende de la intensidad de las vibraciones concordantes, el número de parciales que resuenan y del ruido que este contiene, resulta esclarecedor para que los alumnos aprendan a hablar con propiedad y a asimilar qué se entiende por calidad del sonido.

Sin duda, la comunión de la vista con el oído facilita el aprendizaje de los conceptos más abstractos que se dan en la formación instrumental de viento metal.

La hipótesis planteada resulta positiva, para las variables planteadas, en todos los casos escrutados (Esteve-Rico y Vera, 2017a)

3.3 Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Análisis y caracterización del sonido

Cómo se ha podido comprobar en el subapartado anterior, el uso de las herramientas TIC entra de lleno en la docencia musical y continuando con esta línea de investigación, se valoró la posibilidad de evaluar la calidad del sonido de cada alumno con la finalidad de etiquetarlo y posteriormente objetivar su reconocimiento.

Habitualmente los docentes se enfrentan a tantos sonidos como personas hay en el aula, no hay dos sonidos iguales del mismo modo que no hay dos voces iguales, es nuestra seña de identidad, aquello que nos identifica incluso con los ojos cerrados. Pero a pesar de esta amalgama sonora, cabe diferenciar los sonidos correctos de los incorrectos, o dicho de otra forma, se debe diferenciar las peculiaridades sonoras de cada individuo de los sonidos incorrectos.

Como se ha demostrado en los subapartados anteriores la labor del docente es la de orientar y no la de convencer a nadie. Hablar sobre el sonido puede entrar en un campo peligroso, el de la subjetividad. Sin herramienta alguna no sabemos qué diferencia un buen sonido de otro muy bueno, o uno correcto de otro algo defectuoso. Sólo el criterio del profesor es la guía que discierne y da la conformidad a cada sonido del aula.

Ahora bien, pensemos que el sonido del alumnado no cambia inmediatamente, sino que se necesita maestría y tiempo de estudio para poder desarrollar un sonido de calidad. Este proceso implica que el alumno se acostumbre a su sonido, bueno o malo, y no entienda algunas exigencias del profesor.

Sobre este pretexto se desarrolló el siguiente estudio: “Estudio de los errores más comunes en la ejecución del tono Fa₃ en los instrumentos de viento metal: Análisis y caracterización acústica para su aplicación docente”, que se presentó en forma de artículo en el congreso nacional de acústica celebrado en la ciudad de A Coruña, Tecniacústica-2017 y organizado por la Sociedad Española de Acústica (SEA) (Esteve-Rico y Vera, 2017b).

En él se investiga la posibilidad de caracterizar cada uno de los sonidos que se dan habitualmente en el aula. Imaginemos que con el uso de las TIC se pueda valorar objetivamente la calidad del sonido, con independencia de las peculiaridades sonoras de cada persona. Las orientaciones del docente al alumnado serían mucho más precisas y objetivas, además, el alumno podría observar que se entiende por sonido correcto e incorrecto. Todo ello aceleraría y facilitaría los procesos de aprendizaje. Seguidamente les mostramos el contenido principal del estudio presentado en el congreso nacional de acústica.

3.3.1 Estudio de los errores más comunes en la ejecución del tono Fa₃ en los instrumentos de viento metal: Análisis y caracterización acústica para su aplicación docente.

Se ha analizado la ejecución de Fa₃ para distintas situaciones donde la emisión tonal no era la correcta. Y se han comparado los resultados frente a una adecuada

impostación. Los distintos escenarios se describen en términos que comprenden las características más importantes que se desarrollan durante la docencia en el aula de trombón. Se discuten los resultados obtenidos mediante el análisis de la evolución temporal de su espectro sonoro. Se han obtenido evidencias contrastadas de la relación existente entre la forma, distribución e intensidad de los parciales con los posibles errores que habitualmente se cometen durante el aprendizaje y se ha observado una fuerte correlación con los niveles de presión intraoral durante la ejecución de la nota. También se ha demostrado que la incorporación de las nuevas tecnologías en el aula de música facilitarían el aprendizaje de forma significativa.

3.3.2 Introducción

En Esteve-Rico et al. (2016d) se propuso un método para el desarrollo de la calidad sonora en los instrumentos de viento metal, donde se postula el uso de las nuevas tecnologías como herramienta necesaria para facilitar la labor docente en el aula de música.

Aquí se recogen los resultados derivados de dicho trabajo y la continuación de esa idea, pero con el objetivo de encontrar *y relacionar las características del espectro armónico de la nota Fa3, que tomamos como ejemplo, con los criterios interpretativos y pedagógicos que la definen para las diferentes formas de emitir que suelen realizar los alumnos en el trabajo diario realizado en un aula de música de viento de metal.*

La ausencia de literatura específica sobre este tema dificulta estos primeros pasos en la investigación que lejos de ambicionar grandes metas tan solo pretende aportar conocimiento a un campo todavía por desarrollar.

3.3.3 Material

Los materiales utilizados para la realización y desarrollo del trabajo de campo se muestran en la Figura 58 y se enumeran a continuación:

- Grabación.
 - ✓ Trombón Bach 42 Stradivarius con transpositor Haggmann Síb/Fa.
 - ✓ Afinador cromático.
 - ✓ Micrófono de medición *Behringer*.
 - ✓ Tarjeta de sonido *Alesis io2*.
 - ✓ *Software* de audio *Audacity*

- Presión.
 - ✓ Sonda de presión diferencial *PCE-P01/05*.

- Edición y Análisis.
 - ✓ *Software Spear* (Spectral Analysis, Editing, and Synthesis).



Figura 58: Material utilizado para la realización y desarrollo del trabajo de campo.

3.3.4 Método

Para abordar cualquier estudio relacionado con la percepción del sonido musical asumimos las ideas expuestas por Weber (s.f.) el cual argumenta que cada músico tiene un sonido característico por el que se le reconoce sin necesidad de contacto visual. Es el mismo fenómeno por el que identificamos a las personas por su voz cuando los escuchamos hablar. Es por esto por lo que para la realización de este tipo de trabajos se deben mantener fijas las características fisiológicas del intérprete, como argumenta Gloria-Ortega (2014), así como el instrumento implicado en el estudio, según Vereecke (2011), puesto que el conjunto forma un todo que es el responsable del sonido emitido.

Puesto que tanto las resonancias del tracto vocal, los labios y la musculatura buccinadora tienen efecto muy marcado en la calidad del tono sonoro, para la caracterización de cada situación nuestro trabajo tendrá en cuenta los siguientes ítems:

- Apertura glotal.
- Impostación.
- Posición de la lengua.
- Posición de los dientes.
- Uso de la musculatura labial y buccinadora.

- Presión intraoral.

Se han realizado un total de 100 grabaciones por cada uno de los tipos de los sonidos evaluados. Estos se corresponden con los posibles sonidos que suelen hacer los alumnos en el aula de viento metal.

El objetivo es detectar, identificar y relacionar posibles desviaciones de lo que se considera un sonido emitido perfecto o impostado correctamente para tratar de caracterizar de forma objetiva dichos errores y así obtener las características que puedan ser representativos y determinantes. Los escenarios analizados y que se muestran en los resultados son:

- En función de la apertura glotal restringida y los resonadores intraorales.
 - Sonido impostado – modelo.
 - Sonido sin impostar.
 - Sonido con excesiva impostación.
- En función de la apertura de los dientes.
 - Sonido con los dientes cerrados.
- En función de la tonicidad del labio.
 - Sonido con los labios apretados (tensos) o afinación alta.
 - Sonido con los labios sueltos (átonos) o afinación baja.
- En función de la articulación con la lengua o su posición.
- Tipos de ataque.
 - Sonido con el ataque entre los labios.
 - Sonido con el ataque blando y lento.
 - Sonido con el ataque con campana o acento.
 - Sonido con el ataque duro o retenido.
- Sonido con la lengua en el medio.
- Sonido con el sonido nasal o lengua alta.

3.3.5 Resultados

Los siguientes resultados se exponen en base a dos criterios. Por una lado, las características específicas de las diferentes emisiones analizadas y si se observa alguna

calidad que las defina en comparación con el Fa3 impostado⁴⁸, que tomamos como modelo de calidad sonora. Por otro lado, las características musicales y la relación con la musculatura peribucal⁴⁹ y apertura glotal descrita, estudiado por Vivona (1968), que intervienen en la emisión de los sonidos con respecto al patrón (impostado), así como los criterios pedagógicos establecidos para la identificación y corrección de estos.

3.3.5.1 *Sonido Fa3 impostado (modelo de referencia)*

La impostación se produce tras la inspiración diafragmática, momento tras el que se coloca adecuadamente la apertura glotal restringida, descrita Mukai (1989), y los resonadores intraorales, especialmente los superiores, se consigue con la boca de bostezo que favorece la resonancia y el paso del aire. Exige un esfuerzo muscular bien balanceado sin que prime la tensión o atonicidad, lo que suele conocerse como estado muscular tónico. En este estado los labios encuentran la resistencia necesaria en la embocadura para vibrar con facilidad y calidad. Sin duda es el sonido más estable, afinado, con mayor presencia de armónicos y menor ruido de todos los analizados, especialmente en el momento del ataque.

La presión intraoral es estable y se mantiene en torno a los 15 mbar y -18dB para el nivel de intensidad sonora. En las frecuencias inferiores, el primer parcial no aparece en ninguno de los ejemplos estudiados tal y como se observa en la Figura 59. Las resonancias corresponden el segundo, tercer y cuarto parcial (hasta 1.000 Hz). Los parciales permanecen estables y sin ruido hasta 3.500 Hz para esta nota en particular.

Es conocido, por todos, que una correcta inspiración diafragmática es la clave, pues después de su realización nos será más fácil impostar el sonido y utilizar el aire caliente expelido. Para que este proceso tenga éxito s aconsejable entrenar la respiración completa antes de enfrentarse al instrumento; para ello existe bibliografía muy interesante que nos puede facilitar el proceso⁵⁰.

⁴⁸ Apertura voluntaria de la parte superior de la graganta, como nexo imprescindible entre la cavidad bucal o resonancia superior y la caja torácica.

⁴⁹ Vivona (1968) indica que cada instrumentista tiene una presión intraoral propia. Su seguimiento nos puede facilitar información importante sobre el estado de la vibración de los labios y la presión del aire en el trombón.

⁵⁰ Las siguientes referencias son un ejemplo:

- PILAFIAN, Sam & SHERIDAN, Patrick: *The breathing gym*. Arizona, Focus on Music, 2002.
- ZI, Nanci: *El arte de respirar. Seis sencillas lecciones para mejorar la salud, la interpretación artística y el rendimiento atlético*. Madrid, Arkano
- NELSON, Bruce. *Also sprach Arnold Jacobs. A Developmental Guide for Brass Musicians*. Illinois, Windsong, 2006.

Tal como indicamos anteriormente el tono Fa3 impostado será referencia y modelo para los siguientes sonidos analizados. La representación tiempo-frecuencia de este registro se muestra en la Figura 59, donde en el eje vertical se representa el espectro de frecuencias en Hz y en el eje horizontal el tiempo en segundos. La escala de grises representa la energía presente en esa frecuencia durante el tiempo.

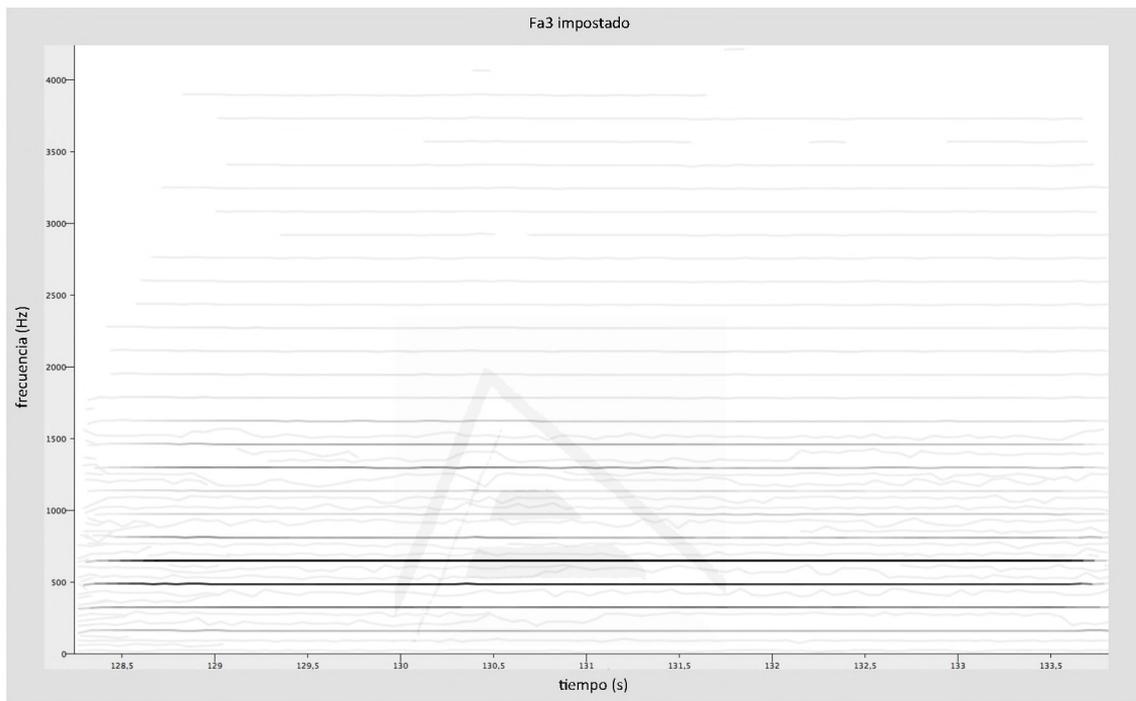


Figura 59: Espectro armónico del sonido impostado.

3.3.5.2 Emisión del sonido Fa3 sin impostar.

El sonido sin impostar se encuentra en las antípodas del sonido impostado, es su contrario, la antítesis a todas las características expuestas en la Figura 60.

La ausencia de impostación consiste en una deficiente apertura glotal restringida dado que la glotis se encuentra demasiado abierta y sin tonicidad, y en la falta de espacio resonante en la cavidad bucal, lo que debilita la intensidad del sonido emitido y en consecuencia sus armónicos. Esto sucede cuando la inspiración es muy pequeña, no dando lugar a que se desencadenen el resto de los pasos: apertura glotal restringida, resonancia intraoral y flujo de aire caliente. Este error se suele cometer al principio del aprendizaje en todos los instrumentos de viento-metal.

Al emitir el sonido Fa3 sin impostar, se observa que la presión intraoral es muy baja, 8 mbar, y el matiz sonoro baja al piano (-33dB), lo cual da como resultado un sonido desafinado descendentemente e inestable. Es el sonido más débil de todos los analizados.

Armónicamente, el espectro muestra parciales inferiores muy débiles, ver Figura 60. Además en el momento del ataque aparece mucho ruido hasta 1000 Hz, sin embargo la inarmonicidad es moderada para estos parciales cuando el tono se estabiliza. Por otro lado, los parciales superiores son inexistentes, quedando la frecuencia de corte alrededor de los 1500 Hz. Como veremos, a lo largo del desarrollo, es el valor más bajo de todos los ejemplos estudiados dando en consecuencia un sonido de muy baja calidad armónica.

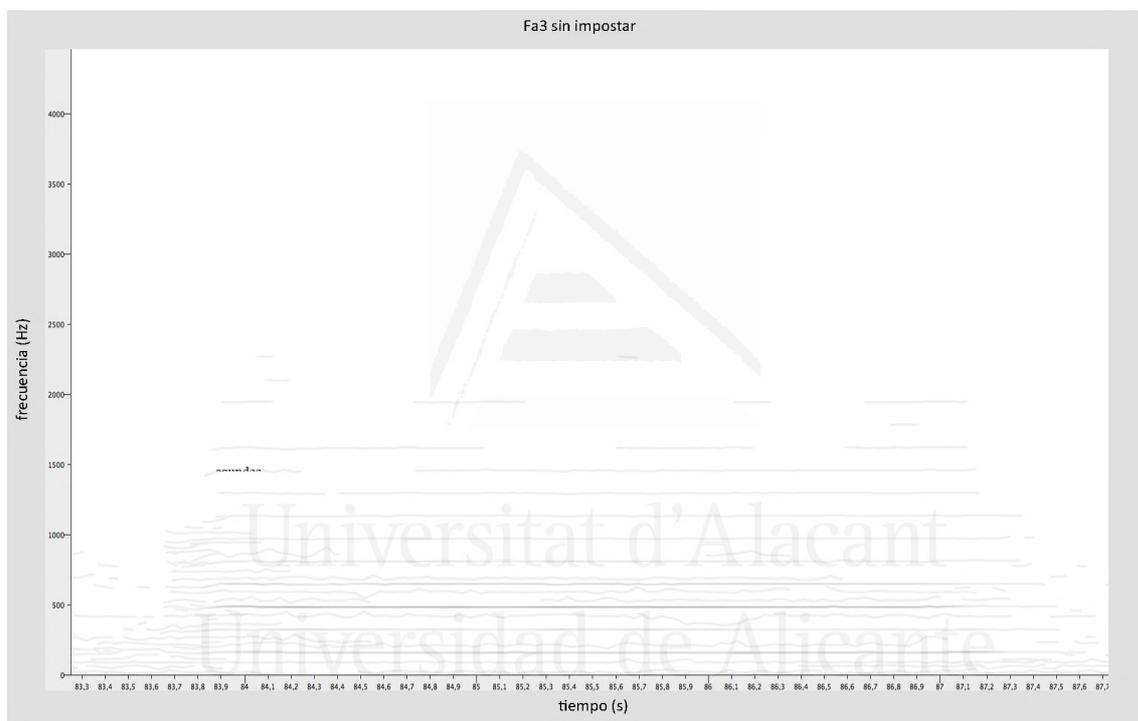


Figura 60: Espectro armónico Fa3 sin impostar.

3.3.5.3 *Sonido Fa3 con excesiva impostación o tensión en garganta.*

Sabemos que cada persona ejerce una serie de presiones intraorales propias y que no se puede definir un baremo común para todos, pero para cada individuo existe una relación entre la presión intraoral alta o baja respecto a los valores alcanzados al ejecutar un sonido impostado. Esta premisa es cierta para cualquier sujeto analizado según Vivona (1986).

En este ejemplo vemos, Figura 61, que al emitir con excesiva tensión en el espacio glotal, la presión intraoral medida alcanza los 19 mbar, algo más alta de lo normal lo que se puede considerar e excesivo.

No existe estabilidad sonora puesto que el sonido tiende al S**í**b2. Es a este fenómeno al que nos referimos cuando decimos que el sonido se abre, la afinación queda baja con respecto al La₄₄₀Hz. Lo que se produce debido a la fuerza excesiva que los músculos de la garganta aplican a la apertura glotal y al efecto conjunto del posicionamiento relativo de los resonadores intraorales superiores. Es como si intentáramos tocar Fa3 con la boca en posición de S**í**b2. De esta forma el sonido emitido parece que tiene la constante necesidad de buscar e irse hacia el armónico inferior.

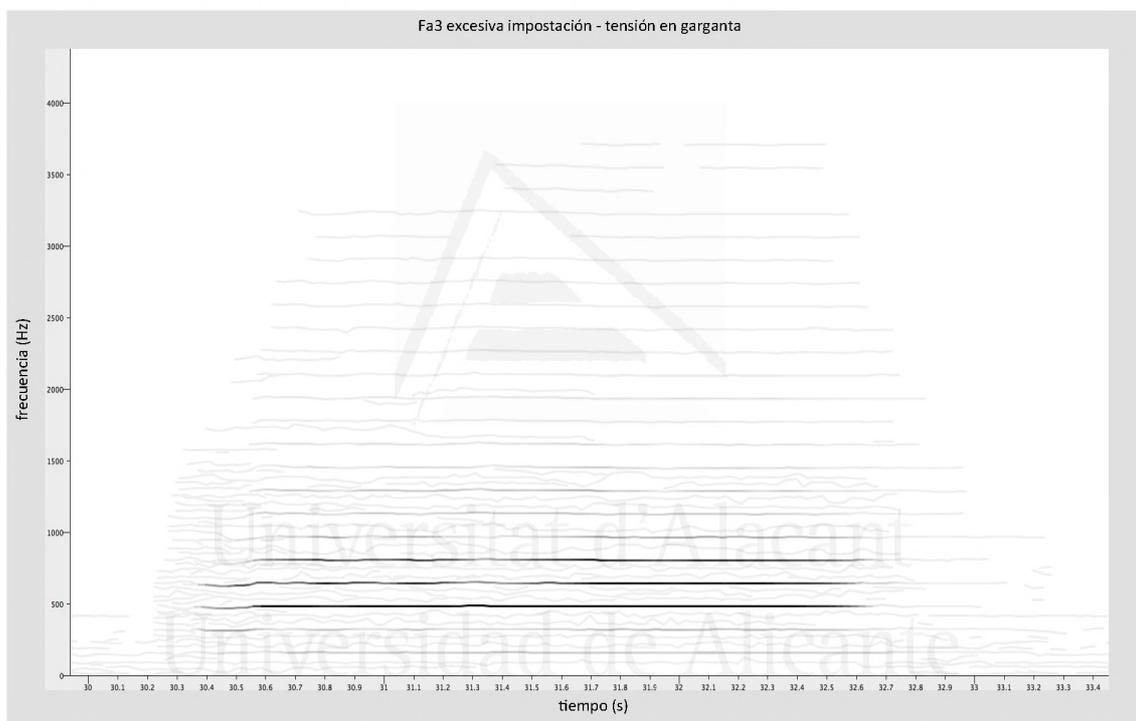


Figura 61: Espectro para Fa3 con tensión garganta.

También debemos destacar que esta forma de emitir dificulta la articulación picada en los instantes iniciales del ataque y es por eso que existe gran inarmonicidad hasta 1500 Hz. Debido a la excesiva apertura glotal nada obstruye el paso del aire y la emisión tiene fuerza y presencia, (-9 dB). Destacan la respuesta de los parciales tercero, cuarto y quinto (hasta 1000 Hz). Una vez que el tono se estabiliza los parciales superiores (2000-4000 Hz) son estables y no presentan ruido.

Aparentemente este sonido es rico en armónicos superiores pero se puede observar que a partir de 3000 Hz estos se vuelven quebradizos e inestables. La respuesta espectral se corta cerca de los 4000 Hz. Y aunque aporte armónicos sueltos en frecuencias superiores

este sonido es de peor calidad armónica que el sonido impostado por la desfinación del tono y su tendencia a romperse.

3.3.5.4 *Sonido Fa3 con los dientes cerrados.*

Al tocar es necesario apretar un poco los labios para que el aire no escape por cualquier abertura imperceptible, pero en los inicios musicales al realizar esta acción se tiende a cerrar de forma involuntaria los dientes, además. El efecto que esto produce es que la afinación queda alta y el sonido pierde calidad, Figura 62.

El ataque resulta difícil pues la lengua no tiene espacio para golpear con comodidad sobre los dientes superiores, y por consiguiente se articula más alto de lo normal, de ahí la gran inarmonicidad que encontramos hasta los 2000 Hz como consecuencia de la falta de afinación. Y que en el momento de la emisión resulta muy complicado estabilizar el sonido. En la Figura 62, se pueden observar las fluctuaciones.

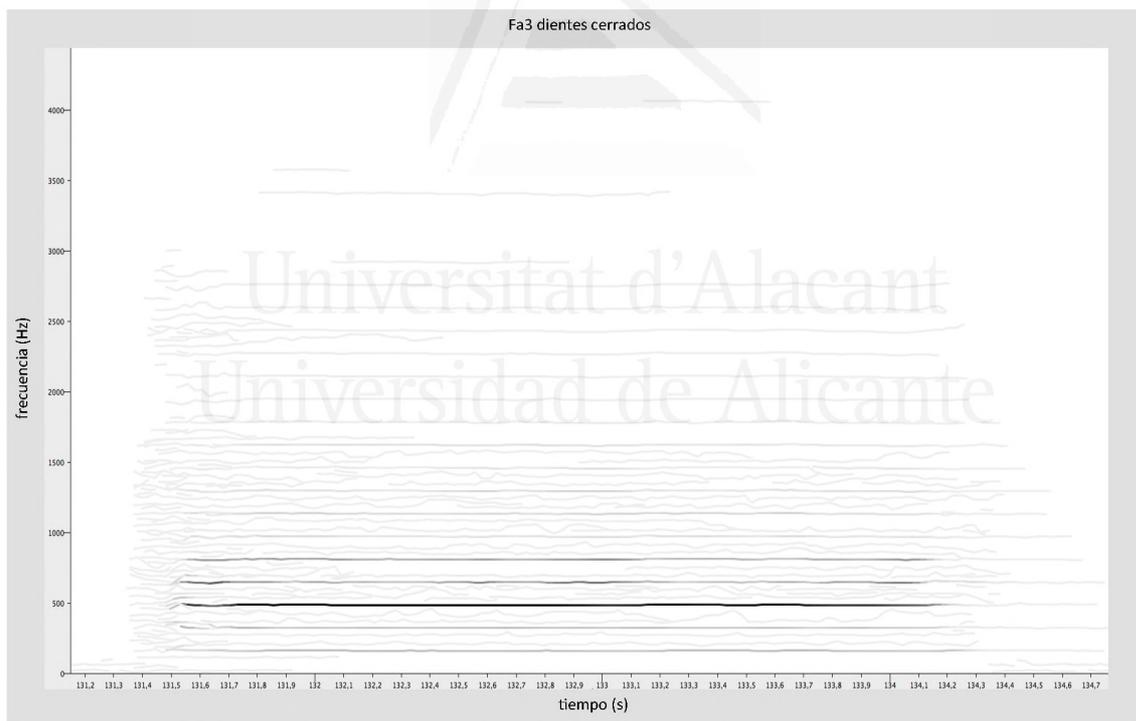


Figura 62:Espectro armónico para el Fa3 con dientes cerrados.

Sin duda, Fa3 con los dientes cerrados muestra un comportamiento espectral muy diferente al propuesto como modelo con el sonido impostado. Existe gran variabilidad de la presión intraoral (15 mbar - 19 mbar) y un matiz dinámico cercano a “mf” (21 dB -18 dB).

La debilidad de los parciales inferiores (hasta 1000 Hz) y la gran cantidad de inarmonicidad hasta 2000 Hz, nos indican que los labios están vibrando con dificultad, pues la emisión se realiza con los dientes cerrados de forma involuntaria y como consecuencia la presión intraoral es mayor de lo esperado en un sonido impostado. Y como consecuencia la afinación queda afectada tendiendo a ascender.

Es destacable la resonancia del tercer parcial (Síb4 - 468 Hz) como la más potente de todas.

3.3.5.5 *Sonido Fa3 con labios apretados.*

Este suele ser la emisión más habitual en el inicio de los estudios musicales según nuestra experiencia docente. Cuando apretamos los labios excesivamente sube la presión hasta 22 mbar, lo cual perjudica a la afinación ascendentemente como ya indicamos en el caso anterior. Véase Figura 63.

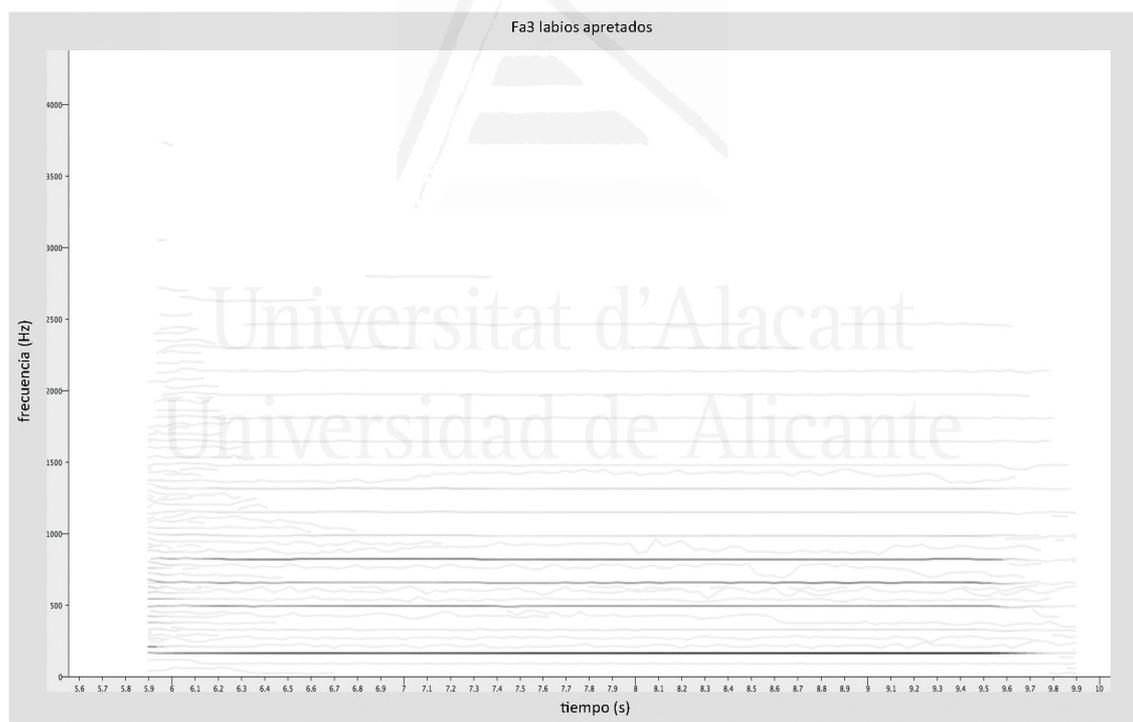


Figura 63: Espectro armónico para Fa3 con labios apretados.

Además, la fuerza que ejercen los labios entre sí dificulta el proceso vibratorio. Tanto la excesiva presión intraoral como la fuerza opresora excesiva de la musculatura facial dan como resultado un tono de poca estabilidad y baja calidad armónica.

La dificultad que representa la constricción de los labios en el inicio del proceso vibratorio tiene su consecuencia sobre el ataque puesto que este se produce desafinado, débil

y oscilante, con gran presencia de ruido en todo el espectro armónico inicial (hasta 2500 Hz). El escaso flujo de aire da lugar a una impostación insuficiente y en consecuencia el sonido se produce débil, alrededor de los -24 dB, cuando en el modelo impostado se alcanzan nueve decibelios más de intensidad sonora.

Armónicamente, el espectro muestra presencia en los parciales inferiores hasta 800 Hz, excepto para el segundo parcial que se difumina. Existe gran inarmonicidad hasta 800 Hz cuando el ataque se estabiliza, en cambio, para los parciales superiores (1000 Hz - 2000 Hz) son estables y casi no presentan ruido. No obstante, dada la falta de impostación, a partir de 2000 Hz estos se vuelven quebradizos e inestables. Los sonidos cortan cerca de los 2500 Hz. Podemos decir que la emisión del Fa3 con los labios apretados muestra menos calidad sonora que el sonido impostado. Y como característica más relevante tenemos la buena definición de los parciales uno, tres, cuatro y cinco.

3.3.5.6 *Sonido Fa3 con los labios sueltos o musculatura átona.*

Una buena embocadura o musculatura peribucal tonificada ayuda a la estabilización de la emisión y la correcta ejecución de las notas. Pero debido a la falta de estudio cuando la motivación es inexistente, lo que es común entre los alumnos de primeros cursos, es usual tener dicha musculatura átona. Cuando esto ocurre el sonido resulta inestable y notablemente desafinado. Concretamente el sonido tiende a bajar con respecto al La₄₄₀ Hz y en ocasiones a buscar la siguiente resonancia del tubo, en este caso el Síb2. Esto ocurre, aunque la apertura glotal y los resonadores peribucales actúen adecuadamente, pues la falta de sujeción en la musculatura facial impide el correcto funcionamiento de la fuente de vibración y con ello se pierde la calidad del sonido.

Al emitir el Fa3 con los labios sueltos, la falta de adecuación de la musculatura al tono hace difícil estabilizar el nivel de presión sonora en el tiempo que oscila continuamente entre -21 dB y -15 dB, aportando menos intensidad que el sonido impostado. Pero en cambio la presión intraoral no se ve afectada respecto al modelo (las diferencias son muy sutiles) 12 mbar y 14 mbar. Aunque existe una falta de afinación patente. Ver Figura 64.

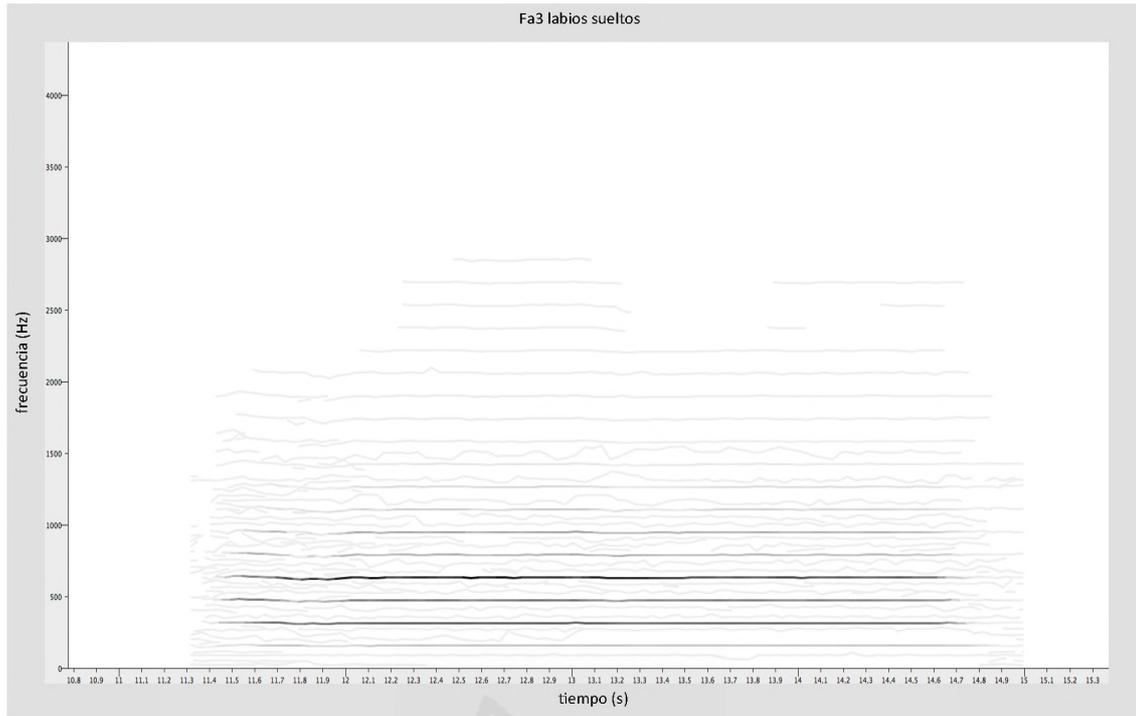


Figura 64: Espectro armónico para Fa3 con labios sueltos.

Armónicamente, el espectro muestra poca intensidad en los parciales inferiores, de hecho el primer parcial no aparece. El resto lo hace hasta 1000 Hz. Existe mucha inarmonicidad y presencia de ruido hasta los 1.500 Hz especialmente en el momento de ataque. La falta de una correcta sujeción de la fuente de vibración causa la desafinación y problemas de calidad sonora.

3.3.5.7 *Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso A: Ataque contra los labios.*

Cuando atacamos el principio de cada nota con la lengua contra los labios en vez de contra los dientes, la vibración adquiere un soplo de aire molesto que corta el sonido en cada una de las ocasiones que se utiliza, de ahí la gran cantidad de ruido existente en el momento del ataque hasta 1500 Hz. Es una articulación errónea y que perjudica la fuente de vibración y en consecuencia la calidad del sonido, puesto que la frecuencia de corte se queda en 2500 Hz cuando el modelo impostado corta por 3500 Hz. Recordemos que el picado debe hacerse sobre la base de los dientes superiores con el fonema “TA”.

Con el ataque en el labio la presión no se estabiliza y es muy alta en el momento del ataque 19mbar, y por ello la afinación también queda alta. Posteriormente se estabiliza sobre 14 mbar. El sonido es más fuerte de lo establecido; encontramos -12 dB al principio y luego se normaliza a -18 dB.

No aparece el primer parcial y destacan el tercer armónico. Existe mucha inarmonicidad hasta 1500 Hz especialmente en el momento del ataque. Los parciales superiores son débiles e inestables a partir de 1500 Hz y se hacen más quebradizos al llegar a la frecuencia de corte 2500 Hz.

Este es un sonido de baja calidad armónica puesto que corta en 2500 Hz cuando el sonido impostado lo hace en 3500 Hz.

3.3.5.8 *Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso B: Ataque blando.*

Atacar supone definir la afinación y forma de cada nota, cuando esto se pierde el sonido es de baja calidad, inestable y carece de articulación.

Lo que definimos como ataque blando o hinchado es muy usual en el aula musical como producto de una lengua flácida e imprecisa, lo cual suele ser habitual en los inicios musicales para este tipo de instrumentos.

Las características observadas son: presión baja al principio (9 mbar) aunque se estabiliza lentamente a valores aceptables (13 mbar). Los niveles sonoros oscilan entre los -21 dB en el ataque y los -18 dB. Estos cambios de intensidad añadidos a la lentitud del proceso se traducen en una sensación desagradable para el oído, se suele decir que el sonido se hincha, es una articulación errónea.

Si nos fijamos en el espectro armónico de la Figura 65 para el caso b, observaremos que los parciales inferiores no aparecen excepto para la tercera resonancia, mientras que los superiores son débiles y quebradizos por falta de impostación y cuidado en la proyección de la del aire. El sonido se corta sobre 2500 Hz y podemos afirmar que es de inferior calidad armónica que el patrón establecido.

3.3.5.9 *Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso C: Ataque con campana.*

Cuando tocamos accionando la apertura glotal restringida y utilizando los resonadores de la cavidad fonadora, los labios encuentran la presión necesaria para vibrar con facilidad y calidad. Sin duda es el sonido más estable, afinado y con mayor calidad de armónicos de todos los analizados como erróneos puesto que pertenece a la familia del sonido impostado. Este modo presenta una novedad por la forma característica que se produce el acento en la articulación picada. De esta forma se obtiene un sonido estable y

articulado. Este es un sonido óptimo y se propone como modelo para los casos de articulación en el ataque analizados como grupo particular (A, B y D).

Con el ataque con campana sube la presión al articular y se estabiliza en 14mbar. El nivel sonoro se aproxima a los -18 dB que es lo propuesto como nivel de intensidad sonora óptima en el modelo, para este interprete en particular.

Al observar la Figura 65 para el caso C, en los parciales inferiores destacan el tercer y cuarto armónico. Hay presencia de parciales inferiores hasta 1000 Hz y los parciales superiores son más estables cortando sobre 3000 Hz. Aunque se podría ampliar la existencia de la estructura del espectro armónico hasta 5000 Hz. Esto es debido al efecto que produce la articulación acentuada con el que se aborda la ejecución en este ejemplo que conlleva un aumento de la presión intraoral y produce un sonido de mayor nivel. Es un sonido de gran calidad armónica.

3.3.5.10 *Sonido Fa3 con diferentes modos de ataque. Caso D: Ataque duro o retenido.*

Tanto por blando como por duro, si la lengua no centra la articulación del tono el sonido es inestable y de baja calidad. Además, si a esto aunamos la característica retención de picado que se suele dar en muchos alumnos, obtendremos un sonido fuerte en el inicio, desproporcionado y de baja calidad sonora.

La lengua en este caso obstruye al paso del aire taponando la salida y sólo cuando esta se aparta sale el aire acumulado de golpe provocando una dinámica descontrolada dada la excitación repentina a la que es sometida la fuente de vibración.

Con el ataque duro o con retención inicial, la presión sube mucho con respecto al modelo, casi 19 mbar, y luego va bajando cuando el tono se estabiliza hasta 14mbar. Si observamos el nivel de intensidad sonora: durante el ataque llegamos a -9 dB ó -12 dB, nivel más elevado que lo propuesto como correcto. Posteriormente se estabiliza correctamente entre -18 dB y -15 dB.

Como consecuencia de la retención del aire por la obstrucción temporal de la lengua en el momento del ataque, es el sonido más fuerte de todos los analizados, destacando especialmente por ese exceso de volumen y descontrol en el momento de la emisión, lo cual se traduce en la Figura 65 caso D, en una gran cantidad de ruido en el momento del ataque (hasta 1600 Hz).

En los parciales inferiores destacan el tercer, cuarto y quinto armónico (800 Hz). Los parciales superiores 1500 Hz hasta 3000 Hz son estables después del ataque. Si observamos

el desarrollo de las frecuencias superiores estas se hacen quebradizas y aparecen con mucha debilidad por encima de los 5000 Hz.

Aunque cuando el sonido se estabiliza es rico en armónicos, la articulación es defectuosa con tendencia a quedar desafinada ascendentemente con respecto a La_{440Hz} .

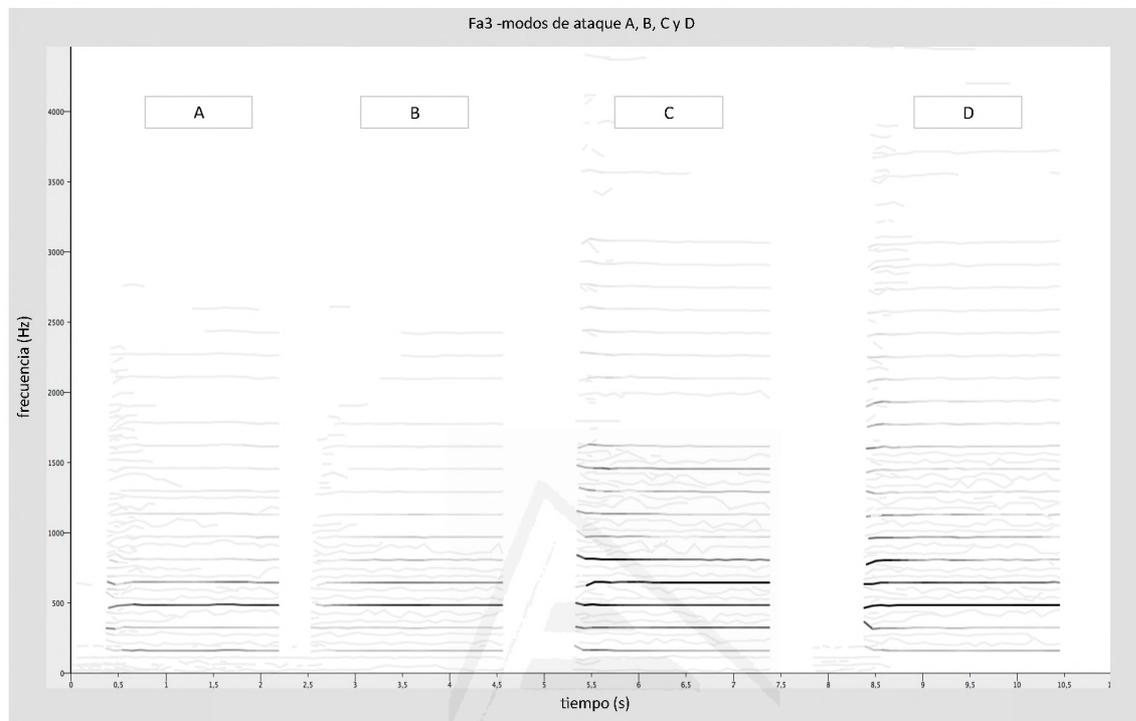


Figura 65: Imagen del espectro armónico. Modos de ataque ABCD para Fas.

3.3.5.11 *Sonido con lengua fuera de la posición de reposo (lengua en el medio)*

Habitualmente solemos reposar la lengua sobre la base de la boca, pues es un gesto natural en la respiración diaria, pero cuando se trata de tocar el trombón podemos encontrarnos extraños, no sabemos dónde colocarla y la sacamos de su posición de reposo natural.

Resulta muy complicado estabilizar el sonido si la lengua se queda en medio, pues no se puede realizar la impostación correctamente y los niveles de intensidad sonora que se producen son más débiles (-21 dB).

La principal característica definitoria es que se produce un sonido tembloroso como consecuencia de que la lengua no baja a la posición de reposo. Aunque la boca esté impostada la afinación oscila tendiendo a quedar alta.

Es un sonido que se rompe con facilidad puesto que los labios no están vibrando con facilidad tal y como se puede observar en la Figura 66.

Aunque la presión intraoral resulta correcta 14 mbar - 15mbar y a pesar de una impostación aceptable, la posición de la lengua afecta ascendentemente la afinación.

Armónicamente, el espectro muestra poca intensidad en los parciales inferiores hasta 1000 Hz. Así como gran inarmonicidad hasta 1500 Hz. Los parciales superiores (1500 Hz - 3000 Hz) son estables y no presentan ruido. Pero a partir de 2000 Hz estos se vuelven quebradizos e inestables. El espectro armónico corta cerca de los 3500 Hz. Como características, destacan los cuatro primeros parciales con Fa3 (185 Hz) y Fa5 (683 Hz) como más potentes.

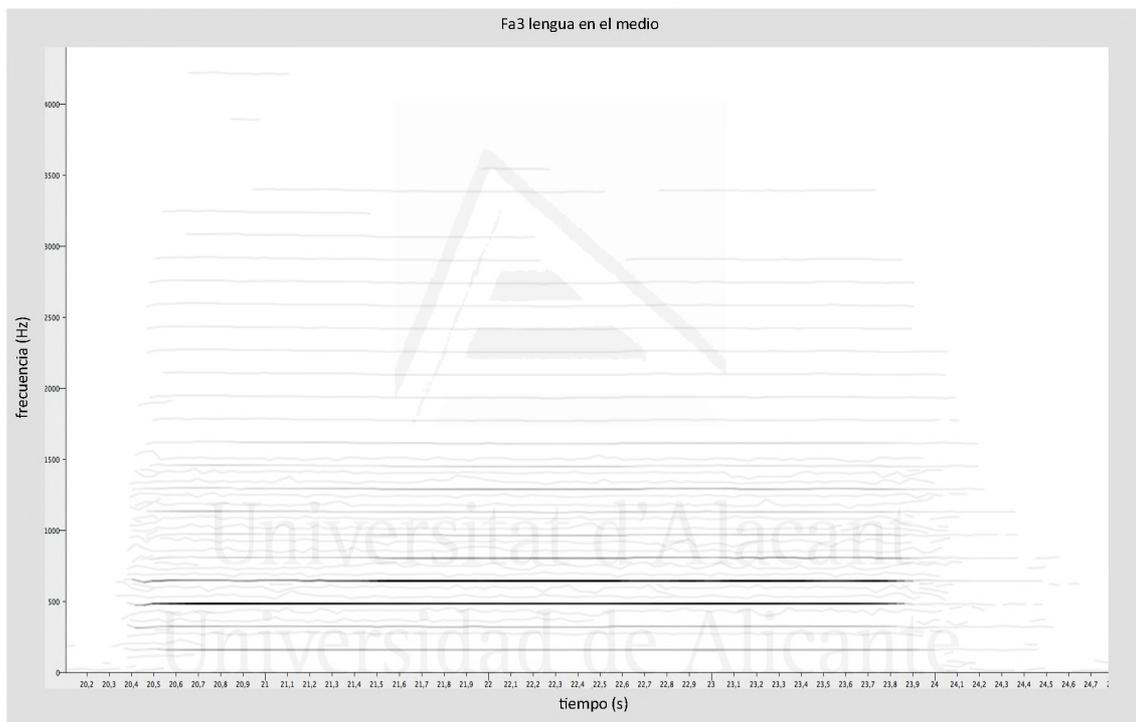


Figura 66: Espectro armónico para fa3 lengua en el medio.

La emisión del Fa3 con la lengua en el medio (Figura 66) muestra un espectro muy parecido al propuesto como modelo, sonido impostado, excepto por la inarmonicidad existente hasta 1500Hz y la desafinación que castiga la calidad sonora.

3.3.5.12 *Sonido Fa3 nasal.*

Continuando con la falta de ubicación de la lengua en los inicios musicales dado que todavía no se sabe impostar con facilidad es concurrente la producción del sonido nasal. Este

sonido se caracteriza por tener la lengua alta en su parte trasera conectando la cavidad nasal con la salida de aire y como consecuencia transforma el espacio resonante.

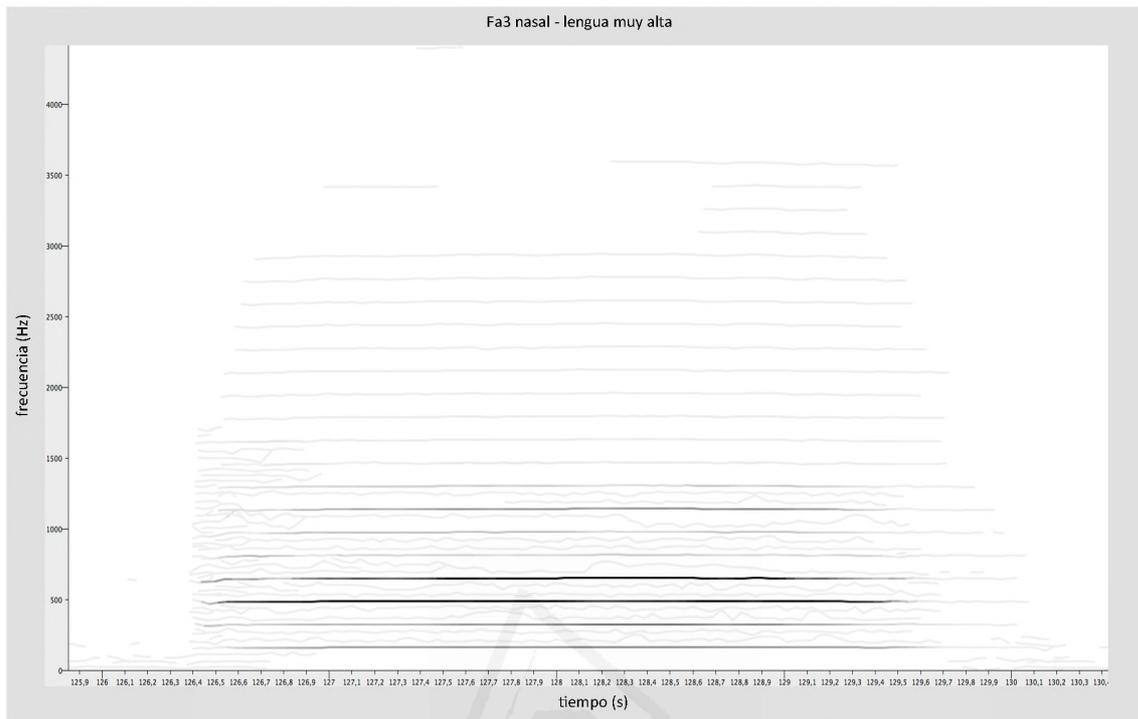


Figura 67: Espectro armónico para Fa3 nasal.

Observamos que la presión intraoral es alta 19 mbar – 20 mbar y que se pierde nivel sonoro con valores -21dB, lo cual da como resultado un sonido estable pero algo más flojo y de inferior calidad armónica (se corta en 3000 Hz).

Resulta imposible subir la lengua sin que se apriete un poco el labio por tanto la afinación se ve afectada ascendentemente y la calidad del sonido se ve influenciada negativamente.

Armónicamente, Figura 67, el espectro muestra presencia patente de los parciales con estabilidad hasta 1500 Hz. La inarmonicidad es moderada. Por otro lado, los parciales superiores son estables y brillan por la ausencia de ruido. La frecuencia de corte está sobre los 3000 Hz.

La característica distintiva de este sonido que lo convierte en nasal es la presencia del séptimo parcial Re6 (1146Hz) que no ocurría en las otras emisiones estudiadas.

3.3.6 Conclusiones

Se ha podido comprobar y relacionar las posibles desviaciones entre el sonido modelo y los distintos escenarios donde la emisión tonal no era la correcta, detectando de

esta forma las características más representativas que hemos reflejado en la Tabla 7 y Tabla 8 que mostramos en las páginas siguientes.

Tabla 7: Resumen comparativo del espectro armónico con respecto del modelo establecido.

CASO	AFINACION	PRESION (mbar)	NIVEL (dB)	Armónicos inferiores	Armónicos Superiores	f-corte superior	Características
Dientes cerrados	Alta	15-19 Inestable	-21 dB -18dB	-Poca intensidad hasta 1000Hz. -Inarmonia hasta 2000Hz	-Inestables 1500/3000Hz	3000Hz	Destaca el tercer parcial (Sib4-468Hz) como nota más resonante de todas
Lengua en el medio	Alta	14-15 Estable	-21dB -18dB	-Presentes. -Inarmonia hasta 1500Hz	-Estables. -Sin ruido. 1500/3.500Hz	3500Hz	Destacan los cuatro primeros parciales (Fa3-185Hz a Fa5-683Hz)
Excesiva impostación	Baja	17-19 Estable	-18dB -9dB Inestable	-Poca intensidad hasta 500Hz. -Inarmonia hasta 2000Hz	-Sin ruido. 2000/4000Hz)	4000Hz	Los dos primeros parciales no salen con facilidad y aunque son estables resuenan menos que el tercer, cuarto y quinto parcial (hasta 1000Hz)
Labios apretados	Alta	22-25 Estable alta	-24dB -21dB	-No 2º armónico. -Inarmonia hasta 1.500Hz	-Estables. -Sin ruido excepto ataque 2000/4000Hz.	2500Hz	El primer parcial está presente y resuena fácil en el instrumento. Por otro lado el segundo armónico se esconde y no resuena en los ejemplos estudiados. El ataque presenta mucho ruido
Labios sueltos	Baja	12-14 Estable	-21dB -15dB Inestable	-No 1º armónico. -Presentes del 2º al 4º armónico.	Los parciales superiores son muy débiles.	2500Hz	El primer parcial no aparece en ninguno de los ejemplos estudiados. Los parciales superiores son muy débiles y se cortan sobre 2.500Hz.
IMPOSTADO	Estable	15 Estable	-18dB -15dB	-No 1º armónico. -Presentes del 2º al 4º armónico.	estables y sin ruido	3500Hz	El primer parcial no aparece. Es el que menos Inarmonicidad presenta de todos los sonidos
Ataque labios	Alta	19-14 Inestable	-12dB -18dB Inestable	-Presentes 3º y 4º armónico. -Inarmonia hasta 1500Hz.	Débiles e inestables a partir de 1.500Hz	2500Hz	El primer parcial no aparece. Inestabilidad e inarmónicos en el ataque
Ataque blando	Baja	9-13 Inestable	-21dB -18dB	-Ruido en general	Débiles e inestables a partir de 1.500Hz. Gran Inarmonicidad	2500Hz	El primer parcial no aparece. Mucho ruido
Ataque con campana - impostado	Estable	14 Estable	-18dB	-Armónicos hasta 1000Hz	estables hasta 3000Hz	3000Hz 5000Hz	El primer parcial no aparece. Aparecen armónicos débiles hasta 5000Hz
Ataque duro	Alta	19-14 Inestable	-18dB	-Destacan armónicos 3º, 4º y 5º, hasta 1500Hz.	Los parciales superiores son estables	3000Hz 5000Hz	El primer parcial no aparece. Inestabilidad e inarmónicos en el ataque. Aparecen armónicos débiles hasta 5000Hz
Nasal	Alta	19-20 Estable alta	-21dB -18dB Estabiliza	-Armónicos estables y presentes hasta 1500Hz	Parciales superiores estables. Sin inarmonía	3000Hz	Presencia resonancia 7 parcial Re6 1146Hz.
SIN IMPOSTAR	Baja	8-10 Estable baja	-33dB Muy bajo	-Armónicos muy débiles hasta 1000Hz.	No existen parciales superiores	1.500Hz	Presión intraoral y nivel muy bajos. Es el peor sonido de todos

Tabla 8: Resumen comparativo características musicales e interpretativas con respecto al modelo establecido.

CASO	CARACTERÍSTICAS MUSICALES E INTERPRETATIVAS
Dientes cerrados	Al tocar con los dientes cerrados es necesario apretar un poco los labios para que el aire no se escape por cualquier orificio que encuentre en los labios y por tanto la afinación queda alta y el sonido pierde calidad. El ataque resulta difícil pues la lengua no tiene espacio para golpear con facilidad los dientes. Cuando los dientes están cerrados la lengua ataca o articula más alto de lo normal lo cual produce desafinaciones en la emisión de cada sonido. Esta variabilidad es debida a la obstrucción de los dientes los cuales dificultan el paso del aire gracias y de cuyo correcto paso depende el funcionamiento de la fuente de vibración.
Lengua en el medio	Resulta muy complicado estabilizar el sonido si la lengua se queda en medio de la boca y no baja hasta la posición de reposo y por ello el sonido es tembloroso. Aunque la boca esté impostada la afinación oscila tendiendo a quedar alta. Es un sonido que tiene tendencia a romperse
Excesiva impostación	No existía una estabilidad clara porque el sonido tenía mucha tendencia a abrirse y buscar el Sib, que es la nota inmediatamente inferior al fa3. Al forzar la apertura glotal con los músculos de la garganta y los resonadores intraorales superiores (paladar blando) era como tocar el fa3 pero con la boca de la nota inferior el Sib 3 y por tanto la afinación era muy baja. El exceso de presión del fa3 forzado al compararlo con el fa3 impostado es debido a que se ha tocado con más dB. Esto es difícil de evitar dada la apertura de la garganta y de la boca.
Labios apretados	Cuando apretamos los labios excesivamente sube la presión y la afinación con lo que se pierde la calidad del sonido analizado
Labios sueltos	Cuando soltamos los labios o existe falta de musculatura el sonido tiene tendencia a bajar y en ocasiones a cambiar de frecuencia hasta la siguiente resonancia del tubo, en este caso el Sib2
IMPOSTADO	Cuando tocamos facilitando la apertura glotal y utilizando los resonadores peribucales, la vibración de los labios encuentra la presión necesaria para vibrar con facilidad y calidad. Sin duda es el sonido más estable, afinado y con mayor calidad de armónicos de todos los analizados.
Ataque labios	Cuando atacamos el principio de cada nota con la lengua sobre los labios en vez de contra los dientes, la vibración adquiere un soplo de aire molesto que corta el sonido en cada una de las ocasiones que se utiliza. Esa una articulación molesta y que perjudica la calidad del sonido
Ataque blando	Atacar supone definir la afinación y forma de cada nota, cuando esto se pierde el sonido es de baja calidad, inestable y carece de articulación
Ataque con campana - impostado	Cuando tocamos facilitando la apertura glotal y utilizando los resonadores peribucales, la vibración de los labios encuentra la presión necesaria para vibrar con facilidad y calidad. Sin duda es el sonido más estable, afinado y con mayor calidad de armónicos de todos los analizados. Si a estas características le aportamos la forma característica del acento en la articulación picada, obtenemos un sonido estable y articulado.
Ataque duro	Bien por blando como por duro si la lengua no centra la afinación del tono y caracteriza su articulación, el sonido pierde calidad armónica y estabilidad
Nasal	Resulta imposible subir la lengua sin que se apriete un poco el labio por tanto la afinación se ve afectada ascendentemente y la calidad del sonido se ve influenciada negativamente. El sonido nasal se caracteriza por tener la lengua alta en su parte trasera y conectando la cavidad nasal resonante con la salida de aire y en consecuencia con la zona de resonancia de la vibración.
SIN IMPOSTAR	La ausencia de resonancia en la cavidad bucal debilita la intensidad de los sonidos resultantes, es el sonido más deteriorado de todos por su poca calidad sonora.

Ha quedado demostrado la utilidad que el control baremado de la presión intraoral y del nivel de intensidad para el discernimiento de la articulación y valoración de la estabilidad sonora.

Por otra parte, el juicio analítico de la evolución temporal del espectro armónico ha sido de gran utilidad, podemos decir que se ha convertido en una herramienta indispensable

para objetivar los criterios interpretativos y pedagógicos que usualmente se usan en el aula. Y que, sin esta herramienta en compañía de los valores de presión intraoral e intensidad acústica, comentados anteriormente, el profesor queda a merced de la opinión subjetiva sin posibilidad de ofrecer al alumno soluciones correctoras contrastadas. Para que este así pueda interiorizarlas con el apoyo de un marco de referencia establecido de antemano.

El sonido analizado en el presente artículo se corresponde con el Fa3 del trombón de varas. En futuras investigaciones se prevé continuar con el estudio del índice acústico completo del trombón. Y así poder implementar una herramienta *Software* de referencia con las características que definen el espectro armónico y las condiciones establecidas como criterios pedagógicos para cada uno de los escenarios posibles que se puedan dar en la ejecución de los instrumentos de viento-metal.

Con ello se pretende afianzar el uso, en el aula de música, de las nuevas tecnologías con la finalidad de facilitar el aprendizaje significativo.

3.4 Evaluación de la calidad sonora con el uso de las TIC: Nuevos instrumentos docentes

El uso de las TIC es una herramienta docente de gran valía para controlar y evolucionar en la calidad del sonido, como hemos visto en los estudios anteriores. Ahora bien, existen instrumentos que pueden ayudarnos a profundizar en el fenómeno sonoro a través del análisis de los factores determinan su rendimiento, como son: la respiración y control abdominal de la columna del aire, la apertura glotal restringida establecida por Mukai (1989), y el adecuado uso a las exigencias del tono de la musculatura peribucal, cuya importancia es descrita por Farkas (1989).

Los citados factores determinan la calidad del sonido, y a pesar de su importancia es complicado establecer una imagen de estos que sirva como patrón o modelo a imitar, principalmente, sobre el adecuado uso de la glotis. No es una parte visible del cuerpo, y por tanto, aunque nos valgamos de imágenes y vídeos, a día de hoy, nos basamos en sensaciones que el músico ha de aprender a desarrollar. Avanzar en este sentido es complicado para el alumnado, y todo depende de su capacidad introspectiva en el estudio y de las orientaciones del docente para utilizar bien la apertura glotal.

En el artículo anterior se recurría frecuentemente al control de la presión intraoral como medida para evaluar la calidad del sonido. El instrumento que utilizamos para controlar la apertura glotal es el barómetro de presión el cual nos mide la presión intraoral. Este índice nos puede indicar como está rindiendo nuestro cuerpo con un simple análisis de la presión intraoral. La presión intraoral es la resultante que se da en el orificio bucal como consecuencia del empuje abdominal sobre la columna del aire, el control glotal de su salida y la obstrucción de los labios al paso de la columna continua del aire. Aunque cada persona tenga una presión intraoral propia definida por su cavidad bucal, como argumenta Vivona (1986), si se puede establecer una relación para con los criterios óptimos de rendimiento o patrones establecidos, como se muestra seguidamente.

Veamos un ejemplo de cómo la presión intraoral muestra un mal uso o fallo en la respiración, apertura glotal o musculatura peribucal. La siguiente muestra se corresponde con la diferencia de presión y el espectro armónico correspondiente de Sib₂ para los casos analizados. Se ha utilizado el manómetro diferencial, colocando una de las entradas en el interior de la boca del intérprete, de la manera más cómoda posible, a través de la comisura de los labios y dejando el otro en contacto con el aire de la habitación. Con esta disposición se procede a realizar uno de los ejercicios de impostación con la boquilla, a continuación, con el ‘*Upsound*’ para finalizar con el instrumento. Simultáneamente se graba con ‘*Audacity*’ el resultado de la ejecución. El resultado que obtenemos es el siguiente:

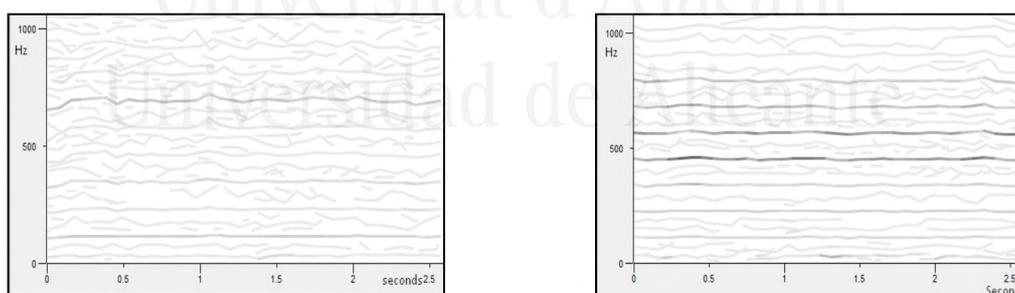


Figura 68: Comparativa espectros armónicos del Sib₂ con boquilla con exceso de presión para el alumno 11 (37,4 mbar) (izquierda) y con los valores propuestos por el profesor, alumno 10 (10,3 mbar) (derecha).

En los casos en los que se utiliza la boquilla con exceso de presión en relación con el patrón (15 mbar), especialmente en el alumno 11 (37,4 mbar en boquilla), tras la escucha se puede juzgar como que produce un sonido cerrado y desafinado, lo cual se traduce, al observar la evolución temporal de los parciales tras procesar la grabación con *Spear*, en pérdida de intensidad y estabilidad. Esto lo podemos apreciar si comparamos los resultados

de este alumno (11) con el alumno 10 que realiza los ejercicios con presiones menores (10,3 mbar en boquilla). Aparte en el alumno 10 los armónicos son más estables y afinados. Ver comparativa Figura 68 (izquierda).

Como se observa en la Figura 68 (izquierda)., el barómetro de presión es un gran instrumento de análisis, especialmente si se junta con los programas propuestos, para detectar objetivamente anomalías en el fenómeno sonoro fruto del mal uso de la respiración apertura glotal o musculatura peribucal.

Otro ejemplo sobre el análisis de la presión intraoral como herramienta o instrumento para detectar anomalías en los citados factores que determinan el fenómeno sonoro los encontramos en (Esteve-Rico y Vera, 2017a). En dicho artículo se realiza un estudio sobre la apertura glotal en los instrumentistas de viento metal, como veremos seguidamente, pero se añade una variante que viene a ejercitar la musculatura respiratoria, peribucal y la apertura glotal, el accesorio *Upsound*.

Creemos conveniente reincidir sobre el uso del *Upsound*, del que ya hemos dicho anteriormente, este accesorio tiene la habilidad de completar el trabajo con boquilla. Es decir, los docentes recurren con asiduidad al trabajo de emisión sonora con boquilla sin instrumento para trabajar la afinación, concretar la vibración y fortalecer la musculatura.

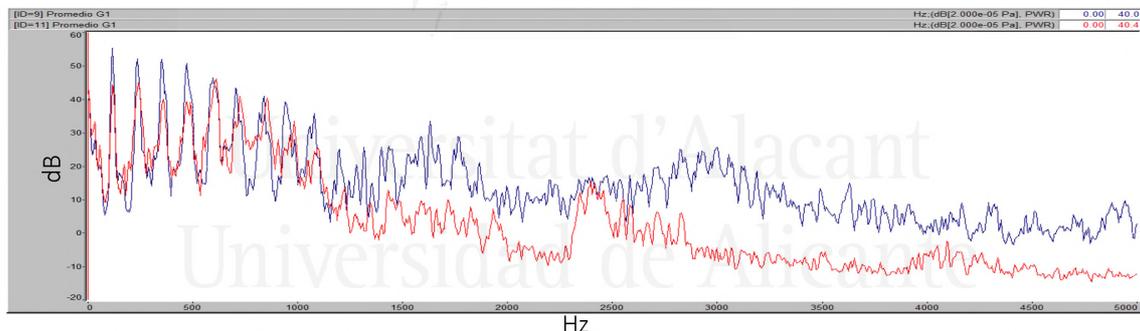


Figura 69: Alumno 5 - Comparativa estabilidad armónica - Sib2 con boquilla 17.4 mbar (rojo) y boquilla más Upsound 20.3 mbar (azul).

Podemos afirmar, que el estudio de la boquilla con una resistencia (*Upsound*) resulta beneficioso para la acción de los labios. Estos vibran con mayor facilidad debido a la acción de retroceso del aire que produce la resistencia y que facilita el ciclo vibratorio en sus dos fases apertura y cierre. Como se observa en la Figura 69 se consigue más estabilidad para el tono de Sib2, que utilizamos como modelo, entre las frecuencias que van desde 0 Hz hasta 5 000 Hz. Es esta resistencia, el elemento esencial para que el intérprete pueda controlar la salida del aire. De hecho, como ya se ha citado en Vivona (1986) es conocido que la resistencia ofrecida al flujo de aire varía con el tipo de embocadura produciendo un efecto variable de impedancia reflejada sobre el tracto vocal y la laringe.

Recordemos que hasta ahora no teníamos ninguna herramienta o instrumento que favoreciera o ayudara al alumno a tomar consciencia y control sobre la acción glotal durante la emisión. Con el *Upsound*, la presión intraoral es elevada debido a la resistencia que ejerce el instrumento. Esta presión, desencadena la acción y colocación de la musculatura intraoral y que es semejante a cuando bostezamos, así como de la apertura glotal restringida. Condicionantes necesarios que desembocan en el sonido impostado. En otras palabras, el accesorio *Upsound*, coloca la impostación del sonido del instrumento porque crea un molde en la boca debido a la alta presión intraoral que ejerce el retroceso del aire y la resistencia del filtro.

En definitiva, el accesorio *Upsound* obliga al alumnado a restringir la apertura glotal y accionar los resonadores intraorales a través de esfuerzo que supone la presión intraoral elevada. Cabe matizar, que para aquellos alumnos con problemas de retención de ataque su uso puede ser contradictorio y perjudicial. No es un instrumento efectivo al 100% del alumnado, como veremos seguidamente, pero es una herramienta que actúa en la zona glotal y peribucal, lo cual puede ser de gran utilidad.

Seguidamente, les mostramos el contenido principal del artículo titulado: “Evaluación de la influencia del tracto vocal y la vibración de los labios en los intérpretes de viento metal”.

En él, se realiza un análisis sobre el uso del *Upsound* como herramienta que favorece la acción de los resonadores intraorales y la apertura glotal restringida. Además, nos valemos del uso de las TIC y del barómetro de presión para evaluar la influencia del tracto vocal y la vibración de los labios en los intérpretes de viento metal. Este artículo fue presentado en el I Congreso de psicología de la música y la interpretación musical CONMUSICA 2017, celebrado en la universidad de Madrid (UNED) (Esteve-Rico y Vera, 2017a)

3.4.1 Evaluación de la influencia del tracto vocal y la vibración de los labios en los intérpretes de viento metal.

La calidad del sonido en la familia de viento metal depende principalmente de la vibración de los labios del intérprete, y el correcto funcionamiento de estos está en función de su control sobre la columna del aire al paso por el tracto vocal, especialmente por la apertura restringida de la glotis. El objetivo de este trabajo es demostrar la eficiencia y necesidad de las Nuevas Técnicas de la Información y Comunicación en el aula docente pues con ellas conseguiremos controlar las variables de presión intraoral, afinación, forma

del espectro y evolución temporal sonora que determinan el estado de la fuente vibración. Además, nos aportan la información necesaria para detectar virtudes y errores en la emisión sonora durante las enseñanzas de viento metal.

3.4.1.1 *Introducción*

El presente estudio tiene como objetivo el uso de las TIC⁵¹ para conocer el funcionamiento de la vibración labial en la formación del sonido y determinar aquellos factores que le perjudican o benefician durante el proceso. Además, este estudio viene a completar investigaciones anteriores sobre la herramienta *Upsound*⁵² ® presentadas por Esteve-Rico et al. (2016c).

La fuente de vibración es el núcleo principal en el que se desarrollan todas las bondades sonoras en los instrumentos de viento metal. Este principio es sencillo, pero sin duda la acción vibratoria de los labios es un elemento complejo, pues su correcto funcionamiento depende del uso adecuado del proceso respiratorio, proceso que se desarrolla en Sheridan y Pilafian (2002). *The Breathing Gym Book*. Como comenta Gloria-Ortega (2014), también influye el control de la laringe y de la apertura voluntaria de la glotis. Según Boutin et al. (2015) la glotis actúa como nexos imprescindibles entre la cavidad bucal y la caja torácica. Finalmente, Farkas (1989) enfatiza la importancia de la posición de la lengua y de la musculatura peribucal en la correcta vibración labial.

En el estudio de la acción de los labios y el resto de las citadas condiciones que influyen para obtener un sonido de calidad, asumimos la idea del otorrino-laringólogo Mukai (1989). Este doctor observó la glotis en instrumentistas de viento de diferente nivel concluyendo que los profesionales pueden controlar la apertura restringida de la glotis y con ello las dinámicas (pp-ff), y por el contrario, los principiantes abren excesivamente la apertura glotal y no pueden mantener la vibración ni conseguir dinámicas. Es decir, los instrumentistas no iniciados apenas tienen control sobre el volumen del aire a diferencia de los intérpretes más experimentados, cuyo gasto es menor. De la misma opinión son Fletcher y Tarnopolsky (1998).

⁵¹ Nuevas técnicas de la información y de la comunicación, TIC a partir de ahora.

⁵² *Upsound*. Es un accesorio de reciente actualidad, fabricado por D. Vicente Honorato (STOMVI). Este dispositivo está pensado para trabajar la musculatura del tracto vocal y favorecer la vibración de los labios. Véase más información en Esteve et al. 2016.

Esta idea se puede corroborar aproximadamente haciendo uso de las ecuaciones de continuidad del flujo o Gasto (conservación de la masa) y la de Bernoulli o balance de presiones (conservación de la energía). De donde se puede deducir que si la velocidad del aire disminuye el Gasto es menor y se dispone de más cantidad de aire para la ejecución (mayor tiempo de soplado). Y además esta disminución de la velocidad implica un aumento de la presión manométrica⁵³ en la sección correspondiente, ver Figura 70.

Aplicando esta fórmula a las palabras de Mukai (1989), los intérpretes profesionales tienen más posibilidad de cambio en la velocidad de paso del aire, lo que se traduce en variaciones de presión controlada gracias a la restricción que se crea en la laringe. Por ello pueden obtener las dinámicas necesarias. Si los intérpretes principiantes usan glotis abierta no pueden conseguir ese rango de variación y pierden la posibilidad de distinguir entre “pp” y “ff” al intentar ejecutarlos.

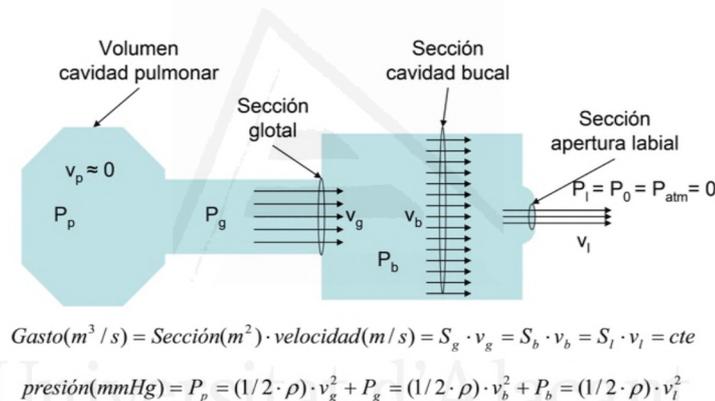


Figura 70: Ecuaciones de continuidad del flujo (Gasto) y de Bernoulli.

Independientemente del volumen de aire que cada persona pueda acumular en los pulmones, que depende de su edad y capacidad, el gasto del aire es controlado por dos puntos en el proceso espiratorio. En primer lugar, el paso del aire por la laringe es regulado por la glotis. Posteriormente, en la cavidad bucal es controlado por los labios. Este es el motivo por el que se acumula presión intraoral en el tracto vocal. Este valor es la clave para tener información de la laringe y los labios en los diferentes escenarios analizados.

Según Wolfe et al. (2009), el control sobre la laringe es importante para los intérpretes, ya que en ella se dan fuertes resonancias durante la interpretación instrumental que ayudan a modificar la propia resonancia del instrumento. Estas resonancias son

⁵³ Se llama presión manométrica a la diferencia entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica.

diferentes, en general, en hombres y mujeres dado que el tamaño de la anatomía subglotal cambia, a lo que hay que unir que la tonicidad del tracto vocal varía según el registro que estemos interpretando. Tal y como apuntan Lulich et al. (2011), es más fácil la propagación del aire en el registro grave.

Hanna et al. (2012) afirman que en estas frecuencias, el estado muscular no rígido del tracto vocal facilita fuertes resonancias acústicas. Pero como apuntan Chen et al. (2011), es muy importante, para los intérpretes, comprender que la impedancia que se da en el tracto vocal no se corresponde o no sintoniza con la afinación de la frecuencia emitida, hasta 1500Hz en trompetas, para trombones y trompas justo la octava inferior.

En las frecuencias graves, esta disparidad aumenta pues la impedancia cerca de los labios es más baja que las frecuencias de reproducción de los labios, según dicen Boutin et al. (2015). Para Fréour y Scavone (2010), existe más apoyo del tracto vocal para los tonos del índice acústico Re_5 - Fa_5 , tesitura en la que la columna del aire deja de encontrar apoyo en el instrumento (impedancia baja).

En resumen, cada persona tiene un ajuste del tracto vocal y de los labios para emitir cualquier nota de la serie armónica debido a su propia morfología. Durante la interpretación, para adaptar la acción de los labios en la emisión del tono se recurre a cambios en la posición de la lengua o bien cambios de presión en la embocadura. El apoyo del tracto vocal es importante en la vibración de los labios al paso de la columna del aire. Aunque no existe relación entre las frecuencias de resonancia y las resonancias intraorales en parte del registro del trombón, a pesar de la colocación o adaptación intraoral de los tonos por parte del intérprete, sí existe relación en el registro sobreagudo (a partir del Re_5) entre la frecuencia de resonancia y las resonancias del tracto vocal. Las frecuencias superiores a Fa_4 son complicadas porque empiezan a entrar cerca de la frecuencia de corte de la columna del aire, esta deja de tener apoyo, y facilita la inercia. Existe una fuerte influencia del tracto vocal en el registro superior y en la flexión o cambio de tono por los movimientos de abducción y adducción de la glotis. En el resto de registro no existe una correspondencia, pero la tonicidad muscular del tracto vocal es muy importante para las fuertes resonancias que se dan, especialmente en el registro grave.

Como curiosidad se puede destacar la influencia de la lengua materna que condiciona la posición de la lengua al articular y la forma de la cavidad bucal, y en consecuencia

caracteriza el sonido de los instrumentistas de viento según su origen de nacimiento como apunta Heyne y Derrick (2015).

3.4.1.2 *Material y método*

Los materiales utilizados para la realización y desarrollo del trabajo de campo, se han representado en la Figura 71 y se enumeran a continuación:

- Grabación Afinador cromático.
 - ✓ Micrófono de medición *Behringer*.
 - ✓ Tarjeta de sonido *Alesis io2*.
 - ✓ *Software* de audio *Audacity*
 - ✓ *Upsound*®
- Presión.
 - ✓ Sonda de presión diferencial *PCE-P01/05*.
- Edición y Análisis.
 - ✓ *Software Spear* (Spectral Analysis, Editing, and Synthesis).



Figura 71: Imagen del material utilizado.

Se han analizado un total de 103 individuos distribuidos entre: 33 trombonistas, 46 trompetistas y 24 trompistas cuyos niveles se corresponden desde grado elemental a maestros. El método utilizado es: Nota larga sobre el tono de Fa_3 con el instrumento + nota

larga cantada y afinada + nota larga con boquilla sobre el tono de Fa₃ con el accesorio Upsound + nota larga sobre el tono de Fa₃ con el instrumento. Resumen de la secuencia en Figura 72. Para comparar las diferencias de forma del espectro sonoro y de valor de la presión intraoral se han comparado las notas con el instrumento.

Las TIC que se han utilizado para la obtención de resultados son: El *Software Adobe Audacity, Spear* y el manómetro de presión. Con ellas podemos comparar la forma y calidad de los sonidos, la presión intraoral y detectar posibles diferencias en respecto al patrón establecido por los profesores⁵⁴.

SECUENCIA



Figura 72: Secuencia del método utilizado para la adquisición de datos.

Utilizamos el accesorio *Upsound* porque queremos comprobar si además de trabajar la afinación y musculatura peribucal, activa o ejercita la musculatura del tracto vocal y en consecuencia facilita el control del nuevo sonido. Para comprobar la presión intraoral se ha utilizado en cada uno de los escenarios un manómetro el cual se introdujo en la corriente del aire de la boca por medio de una sonda introducida levemente en la comisura.

Es importante matizar la dificultad que supone para el intérprete emitir un sonido con la sonda intraoral en la comisura de los labios. Por ello, se facilitó a los intérpretes un breve tiempo de adaptación cuando hasta que se lograba emitir el sonido deseado.

El presente estudio no es un método para desarrollar la calidad del sonido. Por tanto, aunque se mencionen las particularidades de cada sonido analizado, es necesario remarcar, que no se ha realizado un método para el desarrollo de la calidad sonora, sino un control de la presión intraoral para conocer el estado de la glotis y su relación con la calidad de la vibración de los labios en el sonido emitido para los escenarios analizados tras el uso de la herramienta *Upsound*.

⁵⁴ Aunque cada persona tiene una presión intraoral propia, Vivona (1968) sí existe una relación entre las presiones con las que se emite el tono y por ello tomaremos como ejemplo los promedios establecidos y valores de los profesores observar diferencias de presión importantes.

3.4.1.3 Resultados

La experiencia de los intérpretes en la secuencia utilizada ha sido positiva y su sensación personal tras el paso por el *Upsound* ha sido bien valorada en líneas generales. Un total de 76 instrumentistas han notado una mejora tras el paso por el *Upsound*, argumentando mayor facilidad o estabilidad al emitir el tono. Otros 27 instrumentistas no han notado nada pues consideraban que no existía cambio alguno tras el paso por el *Upsound* o incluso que les era más fácil la emisión del primer sonido. Esta información corresponde a la opinión de los distintos casos.

Los resultados obtenidos con las TIC, y que se desarrollan seguidamente, objetivan que:

- A) 70 alumnos consiguieron alguna mejora en la estabilidad del tono, presión sonora y riqueza de armónicos tras el paso por el *Upsound*.
- B) 12 alumnos no notaron efecto sonoro alguno tras el uso del *Upsound*.
- C) 21 alumnos cometieron algún error, por exceso o defecto de presión intraoral, sonora, afinación y descontrol, al comparar los resultados con el promedio establecido para la emisión del tono Fa₃.

Al comparar las sensaciones de los intérpretes con los resultados en base a la relación que tiene el tono analizado con la presión intraoral, el volumen sonoro, la forma del espectro armónico y su estabilidad, afinación, la intensidad de sus armónicos, los armónicos superiores y el ruido de cada emisión, se extraen los siguientes promedios:

En la Tabla 9 se puede apreciar una mayor presión intraoral tras el paso por este accesorio. (El promedio de los resultados obtenidos en presión intraoral antes y después del uso del *Upsound* para la repetición del tono Fa₃ están separados por una coma).

Tabla 9: Promedio de presión intraoral y casos particulares (profesores).

Instrumento	PRESIÓN INTRAORAL (mbar)							
	PROMEDIO ALUMNOS		PROFESOR CASO-1		PROFESOR CASO-2		PROFESOR CASO-3	
	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
Trombones:	16	18	14	16	16	17	26	28
Trompetas:	26	26	30	33	34	35	39	39
Trompas:	14	16	18	20	19	20	23	25

En la Tabla 10, se observa que tras el uso del *Upsound* existe mayor presión sonora.

Tabla 10: Promedio de presión sonora y casos particulares (profesores).

Instrumento	PRESIÓN SONORA (dB)							
	PROMEDIO ALUMNOS		PROFESOR CASO-1		PROFESOR CASO-2		PROFESOR CASO-3	
	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
Trombones:	-27	-24	-24	-21	-18	-15	-9	-9
Trompetas:	-23	-22	-14	-12	-18	-15	-15	-13
Trompas:	-24	-24	-24	-21	-18	-18	-14	-12

En las Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 se muestran el promedio de los resultados de afinación, frecuencias de corte superiores y ruido, antes y después del *Upsound*. En líneas generales después del uso del accesorio *Upsound* la afinación se mantiene, las frecuencias de corte suben y el ruido sube.

Tabla 11: Afinación y casos particulares.

Instrumento	AFINACIÓN (Hz)							
	PROMEDIO ALUMNOS		PROFESOR CASO-1		PROFESOR CASO-2		PROFESOR CASO-3	
	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
Trombones:	175	175	180	179	175	175	176	176
Trompetas:	351	360	350	349	350	351	350	352
Trompas:	175	175	176	175	173	173	172	178

Tabla 12: Frecuencia de corte superior y casos particulares.

Instrumento	FRECUENCIA DE CORTE SUPERIOR (Hz)							
	PROMEDIO ALUMNOS		PROFESOR CASO-1		PROFESOR CASO-2		PROFESOR CASO-3	
	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
Trombones:	3248	3360	2890	2890	4000	4500	9204	11328
Trompetas:	5738	5790	11445	11078	7000	9000	6345	7487
Trompas:	3154	3307	4733	4938	7110	8516	3600	4800

Tabla 13: Ruido y casos particulares.

Instrumento	RUIDO (Hz)							
	PROMEDIO ALUMNOS		PROFESOR CASO-1		PROFESOR CASO-2		PROFESOR CASO-3	
	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
Trombones:	2124	2087	1811	1630	2000	2500	7080	8163
Trompetas:	3795	3752	11445	11078	7000	9000	6345	7487
Trompas:	1638	1628	2020	2120	3493	3530	2079	2086

Los anteriores promedios han sido objetivados con el uso de las TIC, y por ello, se han realizado los modelos para Fa_3 tomado como patrón el promedio de los valores obtenidos en presión intraoral, sonora, afinación, frecuencia de corte superior y ruido. Con esta información, podemos detectar en el alumnado valores distintos y alejados de los promedios, diferencias que sirven para detectar irregularidades en el tracto vocal que desencadenan una vibración de los labios de baja calidad. Esta información se completa al visualizar la historia temporal del sonido y el espectro armónico de los casos analizados seguidamente.

Las Figura 73 se corresponden a interpretaciones, antes y después del *Upsound*, de alumnos y profesores en particular y que tomaremos como ejemplo para cada caso. La imagen de la izquierda se corresponde con historia temporal del sonido y la de la derecha con el espectro armónico.

3.4.1.3.1 Fa_3 con un mayor factor de calidad de vibración de los labios después del *Upsound*. Evolución temporal del sonido y espectro armónico.

A la vista de la forma de onda y el espectro mostrado en la Figura 73, si comparamos el primer sonido de la izquierda que se corresponde con la evolución temporal del sonido, antes del paso por el *Upsound*, este tiene una presión intraoral de 20mbar y su volumen sonoro es de -15dB. Si comparamos el segundo sonido de la imagen de la izquierda, después del paso por el *Upsound* este tiene una presión intraoral de 23mbar y su volumen sonoro es de -12dB.

Al observar el primer sonido de la imagen de la derecha y que se corresponde con el espectro armónico del tono, está afinado en 173Hz, sus parciales son estables y del segundo al sexto armónico intensos y con resonancia. La frecuencia de corte superior es de 7110Hz y el ruido sube hasta 2079Hz.

Al observar el segundo sonido de la imagen de la derecha, este está afinado en 173Hz, sus parciales son estables y del segundo al sexto armónico muy intensos y con resonancia. La frecuencia de corte superior es de 8516Hz y el ruido sube hasta 2086Hz.

Con esta simple evaluación observamos que el segundo sonido después del uso del *Upsound*, es de mayor calidad debido al aumento de: presión intraoral (23mbar), presión

sonora (-12dB), estabilidad en la evolución temporal del sonido, intensidad de los armónicos inferiores y frecuencias superiores (8516 Hz).

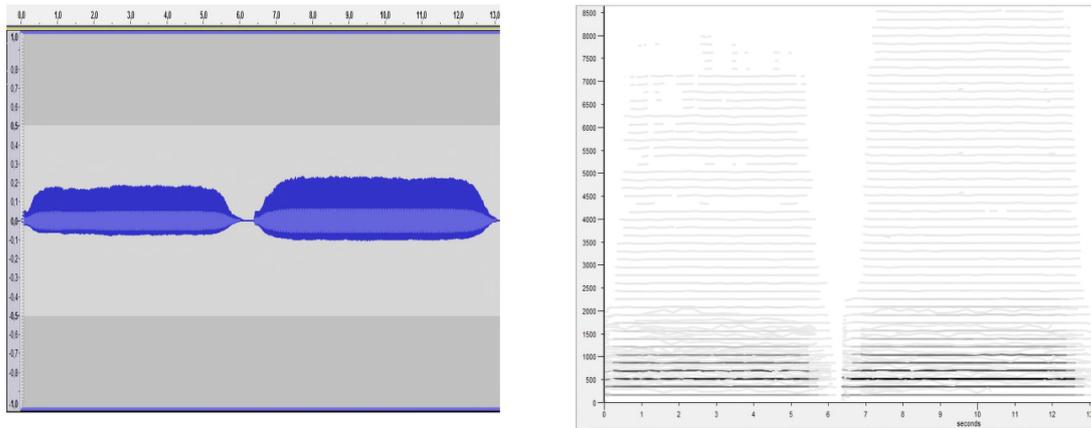


Figura 73: (Izquierda) Captura del software Audacity donde se representa la evolución temporal del sonido. El eje vertical es la amplitud en unidades arbitrarias (normalizadas) y el horizontal el tiempo en segundos. (Derecha) Captura del software Spear donde se representa el espectro armónico donde el eje vertical representa la frecuencia en Hz y el horizontal el tiempo en segundos. Caso 62 - Profesor.

3.4.1.3.2 *Fa₃ con un mayor factor de calidad de vibración de los labios antes del Upsound. Evolución temporal del sonido y espectro armónico.*

Si comparamos el primer sonido (véase Figura 74 (izquierda)) que se corresponde con la evolución temporal del sonido, antes del paso por el *Upsound*, este tiene una presión intraoral de 22mbar y su volumen sonoro es de -15dB. Al observar el segundo sonido de la imagen de la izquierda, después del paso por el *Upsound* este tiene una presión intraoral de 20mbar y su volumen sonoro es de -18dB.

Si prestamos atención al primer sonido de la imagen de la derecha y que se corresponde con el espectro armónico del tono, está afinado en 173Hz, sus parciales son estables y del segundo al sexto armónico intensos y con resonancia. La frecuencia de corte superior es de 4577Hz y el ruido sube hasta 1937Hz. Al observar el segundo sonido de la imagen de la derecha y que se corresponde con el espectro armónico del tono, está afinado en 173Hz, sus parciales son estables y del segundo al sexto armónico muy intensos y con resonancia. La frecuencia de corte superior es de 4055Hz y el ruido sube hasta 1972Hz.

Con esta simple evaluación observamos que el primer sonido antes del uso del *Upsound*, es de mayor calidad debido al aumento de: presión intraoral (22mbar), presión

sonora (-15dB), estabilidad en la evolución temporal del sonido, intensidad de los armónicos inferiores y frecuencias superiores (4577Hz).

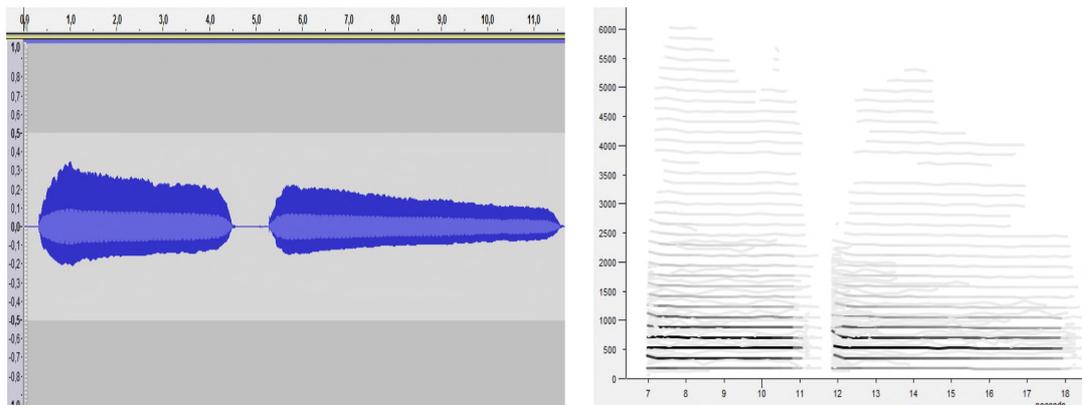


Figura 74: (Izquierda) Captura del software Audacity donde se representa la evolución temporal del sonido. El eje vertical es la amplitud en unidades arbitrarias (normalizadas) y el horizontal el tiempo en segundos. (Derecha) Captura del software Spear donde se representa el espectro armónico donde el eje vertical representa la frecuencia en Hz y el horizontal el tiempo en segundos. Caso 53 - Alumno.

Finalmente, se destaca un caso de varios alumnos con algún error por exceso o defecto de presión intraoral, desafinación y descontrol en la emisión del Fa₃. Evolución temporal del sonido y espectro armónico.

En la Figura 75, parte izquierda, se puede observar un ejemplo modelo de sonidos erróneos antes y de después del *Upsound* si tenemos en cuenta los promedios establecidos anteriormente para los trombones. Si comparamos el primer sonido de la izquierda que se corresponde con la evolución temporal del sonido, antes del paso por el *Upsound*, este tiene una presión intraoral de 24mbar y su presión sonora oscila sobre las -21dB. Si comparamos el segundo sonido de la imagen de la izquierda, que se corresponde con la evolución temporal del sonido, después del paso por el *Upsound* este tiene una presión intraoral de 25mbar y su volumen sonoro fluctúa entre -21 y -30dB.

Al observar el primer sonido de la imagen de la derecha y que se corresponde con el espectro armónico del tono, está afinado en 176Hz, sus parciales son inestables y solamente del segundo al tercer armónico estos son algo más intensos. La frecuencia de corte superior es de 3400Hz y el ruido sube hasta 2480Hz. Al observar el segundo sonido de la imagen de la derecha y que se corresponde con el espectro armónico del tono, está afinado en 177Hz, sus parciales son inestables y del segundo al tercer armónico algo más intensos. La frecuencia de corte superior es de 3300Hz y el ruido sube hasta 3369Hz.

Todos los valores superan el promedio establecido como modelo para el Tono Fa₃, (trombones). Esta información es de gran ayuda en la labor docente y el auto aprendizaje del alumnado. Sin duda, en los inicios musicales (grado elemental) es difícil controlar la columna del aire en su paso por la apertura restringida de la glotis y en consecuencia se merma la calidad de vibración en los labios.

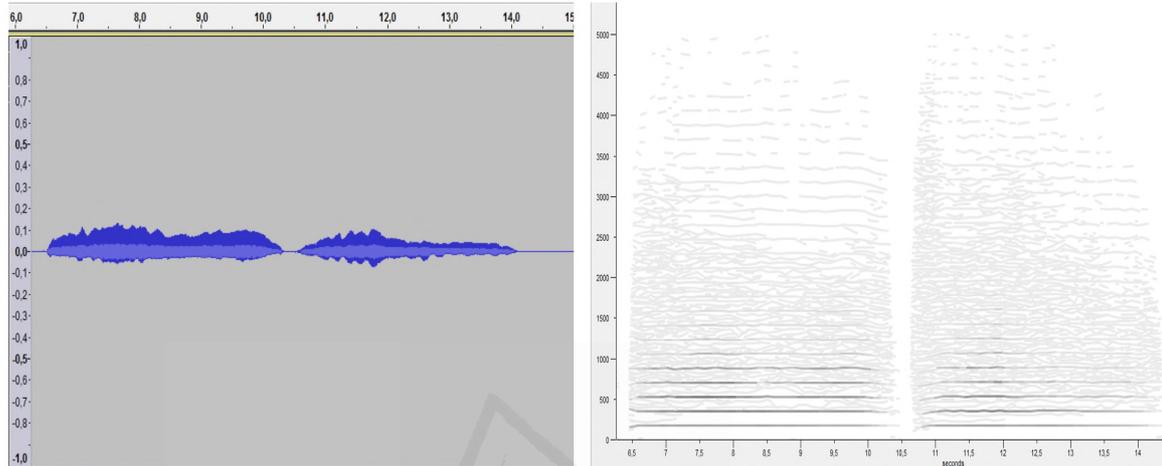


Figura 75: (Izquierda) Captura del software Audacity donde se representa la evolución temporal del sonido. El eje vertical es la amplitud en unidades arbitrarias (normalizadas) y el horizontal el tiempo en segundos. (Derecha) Captura del software *Spear* donde se representa el espectro armónico donde el eje vertical representa la frecuencia en Hz y el horizontal el tiempo en segundos. Caso 43 - Alumno.

En estos casos será necesario recurrir a ejercicios técnicos con el instrumento para el desarrollo del sonido impostado⁵⁵. Estos ejercicios serán establecidos por el profesor especialista para poder así adaptarlos al nivel del alumnado.

En cuanto al trabajo del tracto vocal es necesario practicar los ejercicios para el calentamiento y enfriamiento laríngeo propuestos por Gloria-Ortega (2014) en su publicación “La laringe y la ejecución de los instrumentos de viento” p.58-59 y cuya lectura resulta imprescindible para los docentes.

Para Esteve-Rico et al. (2016d), poder visualizar la evolución temporal del sonido es una herramienta de gran ayuda en grado elemental puesto que, si el profesor establece un

⁵⁵ La impostación se produce tras la inspiración diafragmática, momento tras el que se coloca adecuadamente la apertura glotal restringida y los resonadores intraorales, especialmente los superiores, se consigue con la boca de bostezo que favorece la resonancia y el paso del aire. Exige un esfuerzo muscular bien balanceado sin que prime la tensión o atonicidad, lo que suele conocerse como estado muscular tónico. En este estado los labios encuentran la resistencia necesaria en la embocadura para vibrar con facilidad y calidad. Sin duda es el sonido más estable, afinado, con mayor presencia de armónicos y menor ruido.

patrón sonoro, el alumno podrá visualizarlo, intentar imitarlo y conseguir mayor estabilidad en la evolución sonora, es decir mayor control sobre la columna del aire, de forma más rápida e intuitiva.

3.4.1.3.3 Conclusiones

El presente estudio supone un ejemplo práctico del uso de las TIC en el aula de música. Favorecer los procesos cognitivos con pruebas visuales desencadenará un aprendizaje significativo y motivación en el alumnado. Es un modo novedoso de evaluar la calidad del sonido de una forma creativa y objetiva en el aula. Además, ayuda a obtener información directa y cuantitativa sobre la calidad de la vibración de los labios y en consecuencia del uso que estamos dando a la musculatura peribucal, y al aire en su paso por el tracto bucal.

Conocer la presión intraoral supone un excelente control de calidad para identificar gestos inadecuados del alumnado en la emisión tonal si se compara con el promedio estándar. Lo que puede ayudar enormemente a la tarea del docente y del instrumentista en su autoaprendizaje.

El análisis de los sonidos después del paso por la herramienta *Upsound* evidencia en la gran mayoría de los casos analizados que en el segundo sonido el promedio de la presión intraoral es superior al primer sonido. En consecuencia el instrumentista toca más fuerte y con un paso de aire más lento. Al tocar más fuerte los armónicos aparecen con más intensidad y con más frecuencias superiores pero también se adhiere una mayor cantidad de ruido. Los alumnos menos avanzados no conseguían mantener la dinámica más fuerte y pronto volvían a estabilizarse en su dinámica estándar. En cambio aquellos intérpretes con mejor control sobre el tracto vocal conseguían mantener la dinámica.

Además de las cualidades propias del trabajo de la boquilla, la musculación y la interiorización del tono, esta resistencia ofrece la posibilidad de activar la musculatura del tracto vocal. Esto no es una herramienta que viene a sustituir el uso de la boquilla sola, sino más bien se complementan en el estudio diario de los intérpretes.

La acción del tracto vocal en los instrumentistas principiantes es muy baja. Por lo que el *Upsound* puede ejercitar la musculatura del tracto vocal, favorecer la apertura restringida de la glotis, y la musculatura peribucal en estos casos. Esta musculatura es muy

importante porque es la encargada de la emisión el tono con éxito, siempre y cuando se controle la retención en la emisión del tono por un especialista.

En futuras investigaciones se pretende abordar toda la serie armónica de los instrumentos de viento metal para establecer los promedios de presión intraoral, sonora, intensidad de los armónicos y frecuencias de corte superiores. Valores sobre los que apoyarnos con el uso de las TIC en el aula de música.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1 Conclusiones generales de la tesis

Las conclusiones que podemos extraer de esta tesis tendrán un calado más profundo para las intenciones docentes y la metodología pedagógica a desarrollar en el aula que a la parte puramente acústica donde se ha aportado algo de conocimiento a cuestiones relativas al comportamiento del instrumento pero que ciertamente no se pueden calificar como estrictamente novedosas.

Desde el punto de vista de la física sí que tienen algo de ese espíritu en cuanto que los fenómenos investigados se han relacionado con el conocimiento (o más bien desconocimiento) habitual que tienen los músicos sobre el comportamiento del instrumento. Siempre se ha buscado dilucidar o justificar determinado fenómeno acústico con las herramientas objetivas que proporciona la experiencia científica de un laboratorio, para de esta forma poder trasladar los resultados obtenidos al lenguaje común que usamos los músicos. A partir de ahí se han podido extrapolar esos conocimientos novedosos para un músico a un lenguaje didáctico y aplicarlos al desarrollo de una metodología que si que podemos llamar nueva u original fruto de las investigaciones realizadas inicialmente en el laboratorio.

Es por esta razón por lo que las conclusiones que seguidamente desgranaremos siempre tendrán mayor calado como aplicación educativa que como logro puramente científico:

- 1) Al analizar el comportamiento, mediante su respuesta en frecuencias con el tubo de impedancia, de un grupo de trombones de diversa topología (marca, material de fabricación) se ha constatado que existe una zona de amplitud máxima que es donde este instrumento presenta a la hora de la interpretación su mejor respuesta y que dependiendo de la relación de las amplitudes relativas entre los máximos de dicha zona se define cual es su calidad sonora.

- 2) La frecuencia de corte de los trombones aparece cuando el instrumento no es capaz de producir una respuesta estacionaria que está determinada por la forma de la campana que se puede calcular mediante la función “horn” y la teoría de Levine Schwinger.
- 3) La boquilla realiza la función de cavidad resonante inicial que aporta una ecualización positiva que coincide con la zona de mayor respuesta.
- 4) La boquilla junto con la campana hace que la respuesta del instrumento sea la característica: o sea que el tubo cilíndrico que es el 90% de su estructura y que solo podría presentar frecuencias pares tenga la posibilidad de que existan las impares. Se produce como un desplazamiento de las resonancias de un tubo cilíndrico puro.
- 5) Aunque haya sido de forma accidental se ha demostrado que el análisis de la respuesta en impedancia acústica puede ser un instrumento de control no destructivo a la hora de estudiar posibles desviaciones de la calidad esperada de un instrumento.
- 6) La distribución de la masa es crucial para la respuesta en impedancia del instrumento, por lo que la adición de masas puntuales (lo que hemos estudiado como masas dinámicas o *Clappers*) genera cierto desplazamiento o leve amplificación de ciertas frecuencias por lo que el comportamiento apreciado por el intérprete puede tener ciertas diferencias con y sin su adición, pero no alteran el comportamiento en altas frecuencias como pretende el inventor de estos artilugios.
- 7) El material de construcción no presenta gran influencia en el resultado sonoro del instrumento. Se ha demostrado que no existen diferencias objetivables en la respuesta del instrumento, en nuestro caso usamos el cuerpo de una trompeta en Sib de Stomvi con dos campanas distintas en oro y plata. Se conjetura que la posible vibración inducida en estos elementos debería añadir, por radiación, brillantez al sonido final. En este caso que el espesor de dichos elementos era excesivo y su capacidad de vibración estaba muy reducida como lo demuestra su bajo tiempo de reverberación estructural, por lo que no se pudo encontrar ningún aporte significativo. Se puede pensar que cuando exista cierto efecto de vibración el alcance de dicho posible sonido tan solo servirá de apoyo al propio intérprete y difícilmente se percibirá por el auditorio.

- 8) Por lo que se puede decir que la pretensión de ampliar el rango en altas frecuencias siempre pasa por el diseño de la campana que es quien gobierna eso que hemos llamado frecuencia de corte.
- 9) Se ha desarrollado un método que con el uso de herramientas informáticas (*Hardware* y *Software*) es factible de servir como apoyo en el aula de viento-metal. Con dicho método el alumno es capaz de visualizar los resultados de los ejercicios propuestos y conocer si alcanza el estándar de calidad necesario o exigido para su nivel de formación.

Los parámetros analizados o que se pueden evaluar con nuestra propuesta son:

- 10) Mediante el editor de onda es posible controlar de la estabilidad en la ejecución de ejercicios tonales.
- 11) Analizando la evolución espectral, además, es posible determinar las diferencias o mejoras obtenidas tras la ejecución de los típicos ejercicios de calentamiento que se realizan con la boquilla al aire frente a la misma propuesta, pero ejecutada con ciertas resistencias añadidas como puede ser el “*Upsound*”.
- 12) Por supuesto con ayuda de las herramientas TIC propuestas es muy fácil realizar un análisis de la afinación, no solo en la forma clásica de los afinadores al uso sino durante todo el ejercicio, puesto que no sólo es importante controlar las fluctuaciones de nivel (loudness) sino también las fluctuaciones en la frecuencia emitida (tono).
- 13) Se ha encontrado que existe una relación directa entre los niveles de presión intraoral y la calidad de ejecución. Se ha evidenciado que el control de la presión intraoral durante la ejecución revela de alguna forma la madurez del intérprete. Si bien es sabido que cada persona por sus características fisiológicas tiene unos valores predeterminados de esfuerzo en la impulsión del aire, dichos valores siempre están acotados en un rango que se puede estandarizar. Por lo que con ayuda del medidor de presión diferencial se pueden evidenciar situaciones incorrectas y actuar sobre estos defectos que es difícil de valorar de cualquier otra forma.
- 14) Todas estas experiencias junto con los resultados obtenidos nos han ayudado a poder realizar un catálogo de cuáles son las características que definen de forma objetiva los errores comunes que se cometen en el aula al acometer la ejecución de las notas con el trombón. Se ha demostrado que es posible caracterizar cada uno de dichos

errores mediante una huella, que está formada por cada uno de los resultados que se pueden obtener de los métodos de análisis propuestos y desarrollados en esta tesis.

15) La idea global que se puede extraer de este trabajo de tesis, por lo menos desde mi punto de vista personal como profesional docente e intérprete del trombón es la siguiente: El conocimiento del instrumento (en nuestro caso el trombón pero como extensión cualquier aerófono de viento-metal) desde la perspectiva de sus características de impedancia acústica, permite al músico comprender con mayor claridad y sentido su papel en la simbiosis intérprete-instrumento. Esto junto con el estudio analítico que puede realizar de las características de su sonido al aplicar las herramientas TIC que hemos expuesto en esta tesis, le servirá sin duda alguna para llegar a conocer objetivamente las limitaciones del instrumento y así poder extraer las máximas prestaciones posibles del instrumento.

4.2 Reflexiones sobre el Capítulo 2 - La impedancia en el aula de viento metal. Una perspectiva docente.

Desconocemos los motivos por los que se desestima la acústica musical como asignatura relevante y obligada para el currículo de las enseñanzas profesionales. A pesar de que en algunos conservatorios superiores la acústica musical sí se oferta como asignatura, la falta de formación en esta disciplina desde las enseñanzas profesionales imposibilita, en mi opinión, acortar la brecha que separa la acústica de las enseñanzas musicales.

Lo cierto es que desde el momento que se regularon las enseñanzas musicales en España durante el siglo XX hasta el día de hoy, la información relevante y de gran calado que aporta la acústica, para la formación musical, no trasciende de un campo a otro.

Esta escisión tiene sus consecuencias. Por ejemplo, a día de hoy es común que los intérpretes desconozcan los motivos por los que les resulta complicado emitir en el registro grave o agudo, la zona de máximo rendimiento y la frecuencia de corte del instrumento que tienen entre manos.

Aunque parezca anecdótico esta carencia de formación ha creado en el mercado de compra (y por ende en la fabricación) de instrumentos un círculo vicioso en el que se valora de forma prioritaria el material de construcción. Esto va en detrimento de otras características más determinantes como pueden ser: el taladro de la tubería, la apertura de la

campana, el espesor de las paredes, el espectro armónico de cada instrumento, su zona de máximos y mínimos, y la zona o frecuencia de corte.

Como no existe un instrumento que se adapte a todas las exigencias de cada intérprete, creo que una opción objetiva sería conocer cuál es su respuesta en impedancia del instrumento que pretendemos adquirir. Se podría hacer una analogía con lo que ocurre cuando compramos un micrófono, es usual que el fabricante nos indique al menos su patrón de direccionalidad, su sensibilidad, el máximo valor de presión sonora y la respuesta en frecuencias entre otras características. Una vez conocidos esos parámetros decidimos si es útil para realizar la grabación que pretendemos.

Es por lo que pienso que los instrumentistas deberíamos de buscar al menos qué respuesta en impedancia nos ofrece el instrumento, pues es una característica que no depende del músico y define la esencia. Luego, las sensaciones que nos aporte en la ejecución musical y otra serie de valoraciones subjetivas ya forman parte de la personalidad de cada persona o del tipo de sonoridad que se busque según el tipo de música que se vaya a interpretar.

Puede parecer utópico, tal como están planteadas las enseñanzas musicales hoy en día, exigir información objetiva sobre las características sonoras del instrumento, pues se ha creado un abismo entre la música y la acústica musical en sí.

Dicho desencuentro se podrá subsanar cuando los músicos interpretes que son los potenciales consumidores de instrumentos sean capaces de apoyar sus estándares de calidad con algunos conocimientos esenciales básicos de acústicas y pienso que eso solo se podrá hacer real cuando la formación en acústica musical sea parte obligatoria del currículo de las enseñanzas musicales, entonces seremos capaces de entender y exigir.

4.3 Reflexiones sobre el Capítulo 3 - Las TIC en el aula de viento metal.

El uso de las TIC en el aula debe ser en una realidad docente y cuantas más herramientas dispongamos para enseñar un mismo criterio, mayores serán las posibilidades de éxito en la formación de nuestro alumnado. No se trata de cambiar la forma de enseñar, sino de implementar en nuestro método las nuevas tecnologías.

La tecnología propuesta a lo largo del capítulo segundo es efectiva y de gran utilidad para el aula de viento metal, como se ha comprobado. Los programas *Audacity* y *Spear* son de dominio público, y tan sólo necesitaríamos un desembolso moderado para adquirir una tarjeta de sonido y un micrófono con las que poder grabar desde nuestro ordenador.

Aprender a usar los programas no es complicado si se tiene una orientación o guía, pero nuevamente nos encontramos ante la problemática de la carencia sistemática en formación acústica.

Para solucionar esta problemática, y como nuevo proyecto, se está desarrollando un *plug-in* que facilite el uso de las herramientas *Audacity* y *Spear* de forma intuitiva y muy accesible. Del mismo modo, se está trabajando en desarrollar una aplicación para los dispositivos móviles que sea capaz de evaluar la calidad del sonido de los instrumentos de viento metal, y cuyo uso está especialmente indicado para las enseñanzas elementales y profesionales de música.

4.4 Líneas futuras

Al hablar de los futuros proyectos se debe de abarcar obligatoriamente los puntos estudiados a lo largo de esta tesis, concretamente los referentes al capítulo 2 y 3: “La impedancia en el aula de viento metal” y “Las TIC en el aula de viento metal”.

Sendos temas se concretan en un proyecto que está en la fase inicial de desarrollo y en el que confluyen por un lado la universidad de Alicante, y por otro la empresa de instrumentos musicales de la firma Stomvi.

El proyecto versa sobre el desarrollo de una aplicación para los dispositivos móviles o tabletas en las que poder, a través del accesorio Upsound, controlar los parámetros de afinación y equilibrio sonoro en los distintos niveles que plantea el juego. En definitiva, se pretende aprender jugando, entendiendo esta como la forma más constructiva de conseguir los conocimientos significativos.

Como podemos observar las nuevas herramientas TIC estudiadas a lo largo de la presente tesis, son el preámbulo imprescindible para que se haya dado lugar a esta opción.

Continuando con esta línea de desarrollo de los Software, actualmente están en fase de desarrollo en la universidad de Alicante y Valencia, dos trabajos finales de grado y máster sobre la implementación de un afinador de audio con los plugins que controlan los parámetros establecidos para trabajar la calidad del sonido, tales como el ruido, el ataque o articulación, la estabilidad temporal del sonido, la intensidad de los parciales resonantes y el número de parciales resonantes. El objetivo final es desarrollar un accesorio que facilite la labor al docente controlando la calidad del sonido.

Actualmente existen accesorios que nos sirven para afinar la altura del sonido, pero no nos ofrecen más información. El objetivo final es desarrollar estos accesorios para que nos informen sobre la calidad de nuestro sonido, e incluso que sepan valorar si se está

incurriendo en algún error de emisión. Con esto se objetivaría y completaría la labor del docente y es más, se otorgaría al alumnado mayor autonomía en su aprendizaje.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

BIBLIOGRAFÍA

- Agulló, J. (1989). *Acústica Musical*. Barcelona: Prensa Científica S.A.
- Alaman, X., Picó, R., Redondo, J. (2006). *Caracterización de la campana de una trompeta mediante el método de elementos finitos*. Gandía: Libro de Actas 37ª Tecniacústica-SEA, pág. 1-6.
- Álvarez-Parra, I. (2003). *Guía de iniciación al trombón de varas y aspectos relacionados con el trombón de varas tenor-bajo*. Colombia: Ministerio de Cultura.
- Andrés, R. (2001). *Diccionario de instrumentos musicales: desde la Antigüedad a J.S. Bach*. Barcelona: Biblograf S.A.
- Astruells Moreno, S. (2003). *La banda municipal de valencia y su aportación a la historia de la música valenciana*. Valencia: Universitat de Valencia.
- Ausubel, D.P. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Beauchamp, J. (2012). *Trombone Transfer Functions: Comparison between FrequencySwept Sine Wave and Human Performer Input*. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Beauchamp, J. W. (2013). Trombone transfer functions: Comparison between frequencyswept sine wave and human performer input. *Archives of Acoustics* 37(4) 447– 454.
- Bertsch M. (2003) *Bridging Instrument Control Aspects Of Brass Instruments With Physics-Based Parameters*. Stockholm: Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, (SMAC 03).
- Brackett D. J. (2011) *The Optimisation Of Brass Instruments To Include Wall Vibration Effects*. Loughborough: Loughborough University.

- Boutin, H., Fletcher, N., Smith, J. & Wolfe, J. (2015). Relationships between pressure, flow, lip motion, and upstream and downstream impedances for the trombone. *The Journal of the Acoustical Society of America*, DOI: 10.1121/1.4908236.
- Capuano, V. y González, M. (2008). *Cómo se incorporan las NTICS a la práctica docente en general y a la práctica experimental en particular, en Física*. ISBN: 978-987633-011-4.
- Casares-Rodicio, E. (2002). *Diccionario de la Música. Española e Hispanoamericana*. Madrid: Sociedad General de Autores y Editores.
- Chen, J., Smith, J. & Wolfe, J. (2011). Do trumpet players tune resonances of the vocal tract? *Acoustical Society of America*. DOI: 10.1121/1.3651241.
- Chenoll, J. (1990). *El trombón, su historia, su técnica*. Madrid: Real Musical.
- Chick, J., Logie, S., Kemp, J. A., Campbell, M. & Smith, R. (2010), *An exploration of extreme high notes in brass playing*. In International Symposium on Music Acoustics (ISMA) 2010, Sydney, Australia.
- De Olazábal, Tirso. (1993). *Acústica musical y Organología*. Buenos Aires: Ricordi.
- De Soriano-Fuertes, M. (1873). *Calendario histórico musical*. Madrid: Don Antonio Romero y Andía.
- Dudley, J. D. y Strong, J.W. (1990). A Computer Study of the Effects of Harmonicity in a Brass Wind Instrument: Impedance Curve, Impulse Response, and Mouthpiece Pressure with a Hypothetical Periodic Input. Brigham Young University. *Applied Acoustics* 30, 117-132.
- Edwards, R. M. (1978), The perception of trombones, *Journal of Sound and Vibration* 58(3), 407-424.
- Esteve-Rico, J. C. (2013). *Construcción de trombones en España: Las fábricas Stomvi y Montserrat (siglos XX y XXI)*. Máster investigación musical. Murcia: Universidad de Murcia, departamento de educación.
- Esteve-Rico, J. C. y Vera Guarinos, J. (2015a). *Estudio de la influencia de la masa dinámica del transpositor de un “trombón de varas” en función de su espectro de impedancia*

- acústica*. Congreso Tecniacústica Valencia. Valencia: SEA. ISBN: 978-84-87985-263 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve-Rico, J. C. y Vera Guarinos, J. (2015b). *Análisis comparativo de la influencia del p-bone (trombón de plástico) frente a otros trombones de su misma tesitura fabricados en metal*. Congreso Tecniacústica Valencia. Valencia: SEA. ISBN: 978-84-87985-263 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve-Rico, J. C. (2016a). *Investigando las anomalías de un trombón de varas de alta gama en su respuesta en impedancia y en los resultados de un estudio perceptual*. Congreso Ibérico de Acústica. Porto: Euroregio. ISBN: 978-84-87985-27-0 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve-Rico, J. C., Castiñeira-Ibáñez, S., Vera Guarinos, J. y Rubio Michavila, C. (2016b). *Influencia de las campanas resonadoras (Maxiclappers) en la respuesta en impedancia y en el timbre de los instrumentos de viento metal*. Congreso Ibérico de Acústica. Porto: Euroregio. ISBN: 978-84-87985-27-0 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve-Rico, J. C., Castiñeira-Ibáñez, S., Vera Guarinos, J. y Rubio Michavila, C. (2016c). *Análisis sobre el método tradicional de estudio de la emisión tonal con la secuencia boquilla-trompeta frente a la nueva propuesta metodológica upsound®-trompeta*. Congreso Ibérico de Acústica. Porto: Euroregio. ISBN: 978-84-87985-27-0 / ISSN: 2340-7441.
- Esteve-Rico, J. C., Castiñeira-Ibáñez, S., Vera Guarinos, J. y Rubio Michavila, C. (2016d). *Nuevos métodos de enseñanza para el desarrollo de la calidad del sonido en los instrumentistas de viento*. Congreso de educación Edulearn. Barcelona: IATED. ISSN: 2340 – 1117.
- Esteve-Rico, J. C. y Vera, J. (2017a). *Desarrollo de la calidad Sonora en los instrumentos de viento metal en función de la presión intraoral – Upsound*. Congreso internacional de psicología de la música UNED. Madrid: CONNMUSICA. ISBN: 978-84-9148-399-1
- Esteve-Rico, J. C. y Vera, J. (2017b). *Relación del espectro armónico con el material de construcción para la trompeta Máster Sib*. Congreso Tecniacústica. A Coruña: SEA. ISBN 978-84-87985-29-4 ISSN 2340 – 7441.

- Esteve-Rico, J. C. y Vera, J. (2017c). *Estudio de los errores más comunes en la ejecución del tono Fa3 en los instrumentos de viento metal: Análisis y caracterización acústica para su aplicación docente*. Congreso Tecniacústica. A Coruña: SEA. ISBN 978-84-87985-29-4 ISSN 2340 – 7441.
- Everett, M. P. (2005). *The return to the slide from the valve trombone by late nineteenth and early twentieth-century trombonists including Arthur Pryor (1870-1942)*. Dissertation. Greensboro: University of North Carolina.
- Farkas, P. (1989). *The Art of Brass Playing: A Treatise on the Formation and Use of the Brass Player's Embouchure*. New York: Wind Music.
- Ferrando-Sastre, E. y Yera-Martínez, F. J. (2005). *El trombón. Todo lo relacionado con su historia y su técnica*. Madrid: Mundimúsica Ediciones.
- Fletcher, N. H. (1990), Nonlinear theory of musical wind instruments. *Applied Acoustics* 30(2), 85-115.
- Fletcher, N. H. & Rossing, T. D (1998). *The Physics of Musical Instruments*. New York: Springer.
- Fletcher, N. H. & Tarnopolsky, A. (1998). Blowing pressure, power, and spectrum in trumpet playing. *Acoustical Society of America*, S0001-4966(99)02102-5.
- Fréour, V., Gary P. Scavone, A. L. y Germain, F. (2011). *Acoustical properties of the vocal-tract in trombone performance*. Aalborg: Forum Acusticum.
- Fréour, V. y Scavone, G.P. (2010). *Vocal-tract Influence in Trombone Performance*. Sydney and Katoomba: Associated Meeting of the International Congress on Acoustics.
- Funoll-Alpuente, F. (1862). *Método completo de bombardino bajo, de bombardino barítono y de trombón tenor en do o si b, con tres o cuatro cilindros o pistones*. Madrid: Antonio Romero.
- Gautier, F., Secail-Geraud, M. and Gilbert, J. (2013). *Analysis of vibroacoustics of trombone bells thanks to an adaptation of the Miller experiment*. Canadá: Meetings on Acoustics, 19(1), 35072. DOI: 10.1121/1.4799444.
- Gloria-Ortega, A. (2014). La laringe y la ejecución de instrumentos de viento. *Huellas*.

- Gioia, T. (2002) *Historia del jazz*. Madrid FCE.
- Hanna, N., Smith, J. & Wolfe, J. (2012). *Low frequency response of the vocal tract: acoustic and mechanical resonances and their losses*. Sydney: Australian Acoustical Society. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/287350840>.
- Heller, E. (2013). *Why You Hear What You Hear*. Princeton: Princeton University Press
- Hernandis Oltra, Elies. (2018). El trombón. Recuperado de: <http://orfoed.com/melomano/2012/articulos/guia-practica/voces-de-la-orquesta/el-trombon-2/>.
- Heyne, M. & Derrick, D. (2015). *Trombone Players Seem to Use Different Tongue Positions While Playing Sustained Notes, Depending on Their Native Languages*. Manchester: 9th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music (ESCOM).
- Hirschberg, A., Gilbert, J., Msallam, R. & Wijnands, A. P. J. (1996). Shock waves in trombones. *The Journal of the Acoustical Society of America* 99(3), 1754-1758.
- Hoekje, P. L., Morrison, A. (1999). Finite-element analysis of vibrating trombone bell. *Journal of the Acoustical Society of America* 105. DOI: 10.1121/1.425257
- Hoekje, P. L., Payne, C. A., Kjar, D. N. (1993). Brass instrument bell vibrations and coupling to air modes. *The Journal of the Acoustical Society of America* 94. DOI: 10.1121/1.40787
- ISO10534-2:1998. (2002). *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia*. Madrid: AENOR.
- Kemp, J. A., Smith, R. A. (2012). *Measuring the effect of the reflections sound from lips in brass musical instruments*. Nantes: Société Française d'Acoustique.
- Klingbeil, M. (2005). *Software for spectral analysis, editing, and synthesis*. Barcelona. International Computer Music Conference, pp. 107–110.
- Kausel, W. (2010). *Influence of Wall vibrations on the sound of brass wind instruments*. Wien: Universität für musik und darstellende Kunst Wien, p.13.

- Kausel, W. y Mayer, A. (2008). More experimental evidence favouring the hypothesis of significant wall vibration influence on radiated horn sound. *The Journal of the Acoustical Society of America* 123(5), 3120-3120.
- Kausel, W., Zietlow, D. W. & Moore, T. R. (2010). Influence of wall vibrations on the sound of brass wind instruments. *The Journal of the Acoustical Society of America* 128(5), 3161-3174.
- Knauss, H. P., Yeager, W. J. (2007). Vibrations of the walls of cornet. *Journal of the Acoustical Society of America* 13, 160-162.
- Kofman, H. (2005). Nuevos contenidos y metodologías con NTICs en la enseñanza física. *Revista de física de la Argentina* (FCEF y NUNC). Número extraordinario.
- Kristensen, E. (2014). *An acoustical study of trombone performance, with special attention to auditory feedback deprivation*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology .
- La Alhambra, Revista quincenal de Artes y Letras, XII, (15 de marzo de 1909), nº264.
- La Alhambra, Revista quincenal de Artes y Letras, XII, (31 de julio de 1909), nº228.
- La Correspondencia Militar, XXVII (10 de agosto de 1903), nº 7791.
- López Acebal, L. (1901). La lectura, revista de ciencias y artes. T. I.
- La Vanguardia Española, LXXIII (17 de octubre de 1957), nº 28.418.
- La voz X (17 de octubre de 1929), nº 2747.
- Lawson, B., Lawson, W. (1985). Acoustical characteristics of annealed French horn bell flares. *The Journal of the Acoustical Society of America* 77, 1913. DOI: 10.1121/1.391834.
- Linn, M.C. (2002) Promover la educación científica a través de las tecnologías de la información y comunicación. *Enseñanza de las ciencias*, (20) 3, pp. 347-355.
- Luz. Diario de la república I (16 de enero de 1932), nº9.

- Levine, H. y Schwinger, J. (1948). On the radiation of sound from an unflanged circular pipe. *Physical Review*, 73, 383-406. DOI:10.1103/PhysRev.73.383.
- Logie, S. M. (2012). *An Acoustical Study of the Playing Characteristics of Brass Wind Instruments*. PhD thesis. Edinburgh: University of Edinburgh.
- Lottermoser, W. (1937). Der Einfluß des Materials von Orgel-Metallpfeifen auf ihre Tongebung. *Akustische Zeitschrift (Acoustic Journal)*, Vol. 2
- Lulich, S., Alwan, A., Arsikere, H., Morton, J. & Sommers, M. (2011). Resonances and wave propagation velocity in the subglottal airways. *The Journal of the Acoustical Society of America*. DOI: 10.1121/1.3632091.
- Mazzioni, D. y Dannenberg, R. (2016). GNU General PublicLicense (GPL). AUDACITY®. El Software se puede descargar de forma gratuita en: <http://www.Audacityteam.org/download/>.
- Martínez-Miralles, J. (1987). *Contribució a l'estudi de l'acustica de la Tenora i del tible en el domini temporal*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Miller, D. (1909). The Influence of the Material of Wind-Instruments on the Tone Quality. *New Series*, Vol. 29, No. 735.
- Moreira, M. A. (2010). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Aprendizaje Visor.
- Moore, T. R. (2006). The science of the mouthpiece: What is and isn't known. *Int. Trumpet Guild J.* 30(2), 57
- Moore, T. R., Shirley, E. T., Codrey I. E. W., Daniels, A. E. (2005) The Effects of Bell Vibrations on the Sound of the Modern Trumpet. *Acta Acustica United With Acustica* Vol. 91, 578 – 589.
- Moore, T., Jiawon, V. & Zietlow, D. (2007), How can bell vibrations affect the sound of brass instruments?. *The Journal of the Acoustical Society of America* 121(5), 3178-3178.
- Moreno, S. (2003). *La banda municipal de valencia y su aportación a la historia de la música valenciana*. Valencia: Departamento de filosofía, Universidad de Valencia.

- Mukai, S. (1989). Laryngeal movements during wind instruments play. *J. Otolaryngol Japan*, 92(2) 260-270.
- Myers, A., Pyle, R.W. & Campbell, M. (2011). Effects of nonlinear sound propagation on the characteristic timbres of brass instruments. *Acoustical Society of America*. DOI: 10.1121/1.3651093.
- Nachtmann G., Kausel W., Mayer A. (2007). *Bell Vibrations And Radiated Sound Of Brass Wind Instruments – Is There An Audible Correlation?*. Graz: 3rd Congress of the Alps Adria Acoustics Association.
- Nief, G., Gautier, F., Dalmont, J. & Gilbert, J. (2008), “External sound radiation of vibrating trombone bells”, *The Journal of the Acoustical Society of America* 123(5), 3237-3237.
- O’Maley, S. P. (2001). *Construction and Testing of a modern acoustic impedance tube*. Thesis. California: Naval Postgraduate school.
- Pastor García, Vicente. (2005). *Estudio y análisis sobre la acústica y organología del clarinete y su optimización*. Tesis doctoral. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Pawlowski, Z. y Zoltowski, M. (1999). The application of aerodynamic method for the evaluation of efficiency of the vocal, articulation and respiratory organs during singing and playing wind instruments. *Otolaryngologia Polska* 53 (6), 699-707.
- Pierce, J. (1985). *Los sonidos de la música*. Madrid: Labor.
- Picó, R., Gautier, F. (2007a) The vibroacoustics of slightly distorted cylindrical shells: A model of the acoustic input impedance. *Journal of sound and vibration* 302(1), 18-38.
- Picó, R., Gautier, F., Redondo, J. (2007b): Acoustic input impedance of a vibrating cylindrical tube. *Journal of sound and vibration*, 301(3), 649-664.
- POM, Boletín revista musical II, (junio de 1936), nº 9.
- Poirson, E., Petiot, J.-F. & Gilbert, J. (2005), Study of the brightness of trumpet tones, *The Journal of the Acoustical Society of America* 118(4), 2656-2666.

- Pontes, A. (2001). Nuevas formas de aprender física con ayuda de Internet: una experiencia educativa para aprender conceptos y procesos científicos. *Revista Alambique* N° 29, pp. 84-89.
- Pratt, R. L. & Bowsher, J. M. (1978), The subjective assessment of trombone quality, *Journal of Sound and Vibration* 57(3), 425-435.
- Pratt, R. L. & Bowsher, J. M. (1979), The objective assessment of trombone quality, *Journal of Sound and Vibration* 65(4), 521-547.
- Pyle, R. W. Jr. (1981) The Effect Of Surface Coatings Upon Brass-Instrument Tone Quality. *The Journal of the Acoustical Society of America* 69, S37. DOI: 10.1121/1.386293.
- Pyle, R. W. (1998), The effect of wall materials on the timbre of brass instruments, *The Journal of the Acoustical Society of America* 103(5), 2834-2834.
- REAL DECRETO 1577/2006 (2006), de 22 de diciembre, por el que se fijan los aspectos básicos del currículo de las enseñanzas profesionales de música reguladas por la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Recuperado de: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/01/20/pdfs/A02853-02900.pdf>
- del Rey, R., Alba, J., Ramis, J., Jula, E. Y Segura, J. (2012) Propuesta de fórmula empírica para el factor de pérdidas, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 28 (3), 142-147. DOI: 10.1016/j.rimni.2012.03.010.
- Ribes-Blanco, José. (2012). *Implementación de efectos de audio para trombón de vara en el dispositivo reprogramable "Chameleon"*. Gandia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Sandborn C. (1997). Confessions of a brass repair man: an interview with Ron Partch. *J. Int. Trumpet Guild* 22, 27-30.
- Smith, R. (1986) The effect of material in brass instruments: a review. *Proc. of the Inst. of Acoustics* 8, 91-97.

- Suárez-González, L., Ramos-Pérez, D., Comellas, J. L., Andrés Gallego, J. (1991) *Historia general de España y América. La crisis de la hegemonía española*. Madrid: Rialp, S.A.
- Vereecke, H. (2011). The Trombone of Anton Schnitzer the Elder in Verona: A Survey of Its Properties and Their Acoustical Significance. Wien: *Historic Brass Society Journal* 23, pp. 25-42.
- Vivona, M. P. (1968). *Mouth Pressures in trombone Players*. Illinois: Eastern Illinois University.
- Watkinson, P. S., Browsher, J. M. (1982). Vibration Characteristics Of Brass Instrument Bells-Watkinson. *Journal of Sound and Vibration* 85 (1), 1-17
- Whitehouse, J. W. (2003). *A Study Of The Wall Vibrations Excited During The Playing Of Lip-Reed Instruments*. Milton Keynes: Technology Faculty The Open University.
- Whitehouse, J. W. & Sharp, D. B. (2008). A psychoacoustical investigation into the effect of wall material on the sound produced by lipreed instruments. *The Journal of the Acoustical Society of America* 123(5), 3120
- Whitehouse, J. W., Sharp, D.B., Harrop, N.D. (2002). *An investigation into wall vibrations induced in wind instruments constructed from different metals*. Milton Keynes: The Open University.
- Winkler, Werner & Widholm, Gregor. (1996). *BIAS - Blas Instrumenten Analyse System*. Wien: Eduard Melkus: Institut für Wiener Klangstil.
- Wolfe, J., Garnier, M. & Smith, J. (2009) Vocal tract resonances in speech, singing, and playing musical instruments. *HFSP Journal* Vol. 3, No. 1, February, 6–23 DOI: 10.2976/1.2998482.