

## INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DE BOQUILLAS DE TROMBÓN EN SU CALIDAD ACÚSTICA

**PACS:** 43.75.Fg

Del Rey Tormos, Romina.

Departamento Física Aplicada. Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València. Plaça Ferrandís Carbonell, Alcoi, España, 962849300, [roderey@fis.upv.es](mailto:roderey@fis.upv.es).

Peydro Rasero, Miguel Ángel.

Departamento Ingeniería Mecánica y Materiales. Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València. Plaça Ferrandís Carbonell, Alcoi, Espanya, 966528467, [mpeydro@upv.es](mailto:mpeydro@upv.es)

González Ferrer, Christian.

Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València. Plaça Ferrandís Carbonell, Alcoi, Espanya, 966528467, [chgonfer@epsa.upv.es](mailto:chgonfer@epsa.upv.es)

Alba Fernández, Jesús.

Departamento Física Aplicada. Escola Politècnica Superior de Gandia. Universitat Politècnica de València. c/Paraninf n1, Grao de Gandia, Espanya, 962849300, [jesalba@fis.upv.es](mailto:jesalba@fis.upv.es).

**Palabras Clave:** calidad acústica, trombón, materiales, armónicos.

### ABSTRACT.

The mouthpiece of an instrument is a fundamental part for the instrumentalist. Not only is the choice of instrument range important, but the choice of mouthpiece can be even more important. One of the decisions to be made by every musician is the material of which his mouthpiece is made, and the range of possibilities is becoming wider and wider in brass instruments. Although trombone mouthpieces are usually made of metal, recently there is a trend of manufacturing with other alternative materials. In this work, we will study different trombone mouthpieces, made with different materials: Polylactic Acid (PLA), Nylon, Aluminum and Brass.

The work presents a study of different mechanical properties of the materials, compared with the sonority of the instrument. Harmonic analysis is performed in an anechoic chamber, to evaluate and compare harmonic frequencies, energy and width of the peaks, from the lowest to the highest frequency notes. With these data, information is obtained on the effect that the choice of different materials in the manufacture of trombone mouthpieces has on the execution of notes.

### RESUMEN.

La boquilla de un instrumento es una parte fundamental para el instrumentista. No solamente es importante la elección de la gama del instrumento, sino, puede ser aún más importante la elección de la boquilla. Una de las decisiones a tomar por todo músico intérprete es el material del que está hecho su boquilla, y el abanico de posibilidades, cada vez es más amplio en los instrumentos de viento metal. Aunque las boquillas de trombón suelen fabricarse con metales, recientemente existe una corriente de fabricación con otros materiales alternativos. En este trabajo se estudiarán diferentes boquillas de trombón, elaboradas con distintos materiales: Ácido Poliláctico (PLA), Nailon, Aluminio y Latón.

En el trabajo se presenta un estudio de diferentes propiedades mecánicas de los materiales, comparando la sonoridad del instrumento. Se realiza el análisis de armónicos en cámara anecoica, para evaluar y comparar entre sí frecuencias de armónicos, energía y anchura de los picos, desde las notas con frecuencias más graves hasta las más agudas. Con estos datos, se

obtiene información del efecto que tiene en la ejecución de notas la elección de distintos materiales en la fabricación de boquillas de trombón.

## 1. INTRODUCCIÓN

La boquilla de un instrumento musical, en este caso de un trombón, es una de las partes más importantes del instrumento. Por este motivo el tiempo y esfuerzo que se invierte por un músico en la elección de su boquilla puede ser elevado. A través de la boquilla, el músico genera el sonido mediante la vibración de los labios, ya que la boquilla se apoya contra los labios del ejecutante (o intérprete), por eso es esencial que la boquilla se acomode a cada labio en particular.

Las boquillas de trombón clásicas consisten en una copa de metal, generalmente de latón. En estos instrumentos es posible cambiar de nota sin hacer uso de nada más que de la propia boquilla, modificando la velocidad del aire y la presión de apoyo sobre ella.

Son varios los criterios a tener en cuenta para la elección de una boquilla: el diseño, características físicas y anímicas de cada intérprete, tipo de música a interpretar (jazz, música de cámara, etc.). Este trabajo se centra en el uso del trombón en la música de banda.

En la figura 1 se detallan las partes de una boquilla de trombón [1].

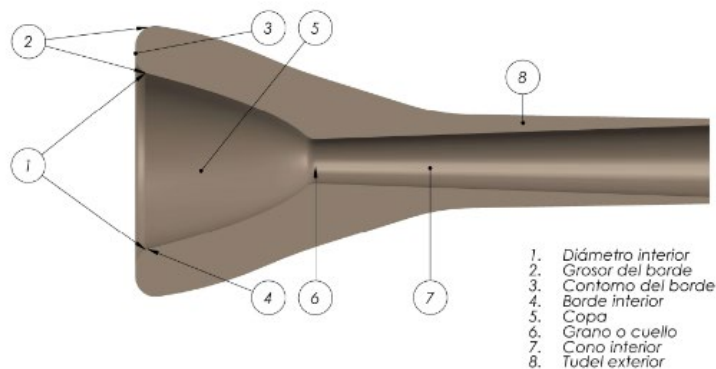


Figura 1 – Sección longitudinal de una boquilla de trombón. Detalle de cada una de sus partes.

El diámetro interior, grosor del borde, contorno del borde y borde interior forman el aro o anillo. En el diámetro interior es donde el intérprete hace vibrar los labios. Estos labios reposan sobre el grosor del borde. La zona donde se concentra la presión de los labios contra la boquilla es en el contorno del borde y en el borde interior es donde los labios vibran. La copa de la boquilla del trombón se define por la profundidad y por su forma (forma tipo C o forma tipo V). El grano se puede entender como el regulador de presión y cantidad de aire que llega al instrumento. Su anchura se relaciona con la columna de aire y puede llevar al intérprete a modificar la fisiología de la garganta para tocar con comodidad. El cono interior es la parte interna de la boquilla, que comprende desde el grano hasta la salida de la boquilla. Su diseño es complejo y sus dimensiones afectan al registro. Su diámetro influye significativamente en el timbre y en la resistencia. El tudel exterior es la parte de la boquilla que encaja con el receptor del instrumento.

El diseño de una boquilla influirá en la forma de tocar el trombón, y puede que también en su sonoridad. Existen trabajos que estudian la influencia del diseño en otros instrumentos de viento-metal [2,3], pero en este trabajo nos centramos en la influencia no en el diseño, sino en el material de fabricación de estas boquillas de trombón, y de su influencia en la calidad acústica.

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Se decide fabricar 4 boquillas de trombón idénticas en diseño y de 4 materiales diferentes, estos son: Ácido Poliláctico (PLA), Nailon, Aluminio y Latón. El motivo de la elección de estos materiales, así como detalles del diseño, se pueden encontrar en [4]. En la figura 2 se pueden observar estas 4 boquillas.



Figura 2 – Resultado final de la fabricación de las 4 boquillas.

La elección de los materiales para la fabricación de las boquillas de trombón ha estado marcada principalmente por dos factores: las propiedades físicas de los materiales y la disponibilidad del material desde los departamentos implicados en este trabajo. Se pueden encontrar detalles del análisis económico, durabilidad y otros factores en [4]. Los materiales elegidos han sido:

- Ácido Poliláctico (PLA): Este material también ha sido el utilizado en la fabricación de los prototipos previos a las boquillas de trombón, ya que es el material comúnmente utilizado en las impresoras 3D.
- Nailon (PA-6): Este material presenta una ventaja frente a los otros elegidos, y es que existen personas con alergia al metal, y cada vez es más extensiva la utilización de boquillas de este material. Además, su peso es menor que el de los metales, por lo que ofrece comodidad al músico.
- Aluminio: Se disponía de stock suficiente en los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Alcoy, que es donde se han fabricado las boquillas, de este material. El tipo de aluminio utilizado (AW-2030) cuenta con una baja densidad, por eso también se ha decidido utilizarlo.
- Latón: es el material más utilizado comúnmente para la elaboración de boquillas de instrumento viento-metal. El latón utilizado en este proyecto ha sido facilitado por un lutier.

En la tabla 1 se detallan algunas de estas propiedades de los 4 materiales utilizados en este trabajo.

Tabla 1 – Algunas características de los materiales utilizados para la fabricación de boquillas.

Material	Ácido Poliláctico (PLA)	Nailon (PA-6)	Aluminio (L-3121)	Latón (C-6440)
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1240	1120-1150	2850	8400
Precio (€/Kg)	2.57-3.13	1.91-2.38	2.96	10.4
Módulo de Young (GPa)	3.3-3.6	1.3-1.6	71-73	93
Coefficiente de Poisson	0.38-0.40	0.34-0.36	0.33	0.35
Límite elástico (MPa)	55-72	40-50	250	138
Resistencia a tracción (MPa)	47-70	51-62	370	413
Elongación (%)	3-6	41-59	12	30
Punto de fusión (°C)	145-177	227-238	510-640	890
Temperatura de vitificación (°C)	52-60	44-56		
Conductividad térmica (W/m °C)	0.13-0.16	0.26-0.27	140	121
Calor específico (J/kg°C)	1180-1210	1590-1650	909	380

### 3. MEDIDAS REALIZADAS

La medida y posterior análisis de la calidad acústica de las 4 boquillas de trombón se lleva a cabo con grabaciones en la cámara anecoica de la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universitat Politècnica de València. Se evalúa a un mismo intérprete, con un mismo trombón, pero con las 4 boquillas: PLA, Nailon, Aluminio y Latón. Los registros se llevan a cabo con un analizador de frecuencias Bruel&Kjaer 2270 y con un micrófono también Bruel&Kjaer tipo 4189. El intérprete se sitúa en una esquina de la cámara anecoica y el analizador a 2 metros de éste. La configuración del espectro de medida se decide en pruebas previas al estudio, para asegurarnos que la amplitud en frecuencia, la resolución y la longitud del registro es la adecuada para poder analizar un espectro lo suficientemente amplio, y acorde con el registro del trombón. Se decide analizar desde un FA2 hasta un FA4. En la figura 3 se muestra una imagen de uno de estos registros en cámara anecoica.

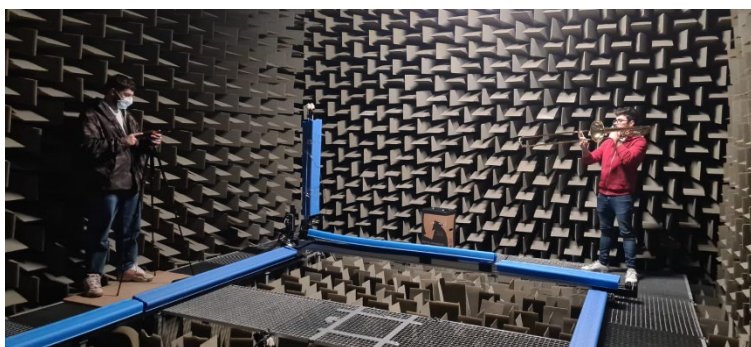


Figura 3 – Ejemplo de registro en cámara anecoica de la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universitat Politècnica de València .

Todos los datos registrados han sido tratados por códigos propios en Matlab que nos proporcionan información de: los registros de cada nota con el espectro de cada armónico para cada una de las 4 boquillas, localización de los picos de estos armónicos y amplitud/calidad de cada pico.

A continuación, se muestran medidas realizadas y su procesamiento para centrarse en el análisis de armónicos. Aunque todo el estudio se ha realizado para las 15 notas comprendidas entre el FA2 y el FA4, se muestran sólo los resultados de 9 notas, distribuidos en 3 registros distintos: registro grave (FA2, SOL2, LA2), registro medio (MI3, FA3, SOL3) y registro agudo (RE4, MI4, FA4). Con esta distribución se pretende facilitar al lector la lectura de los resultados. En las figuras 4, 5 y 6 respectivamente, se muestran los registros de los espectros grave, medio y agudo.

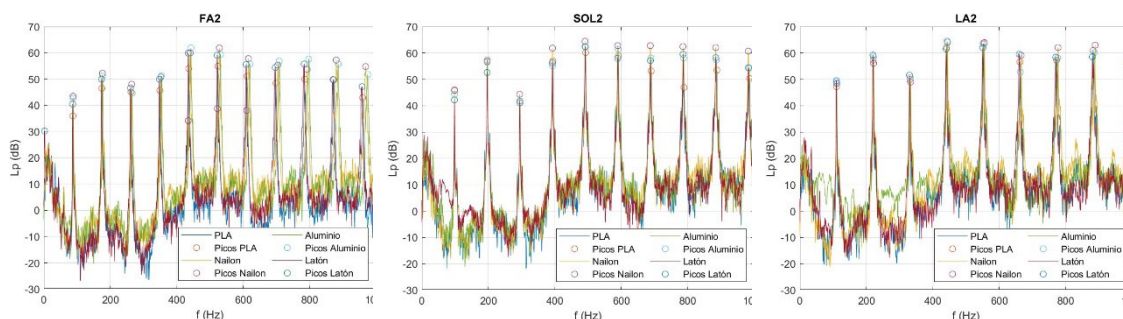


Figura 4 – Registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave) con las diferentes boquillas fabricadas con PLA, Nailon, Aluminio y Latón.

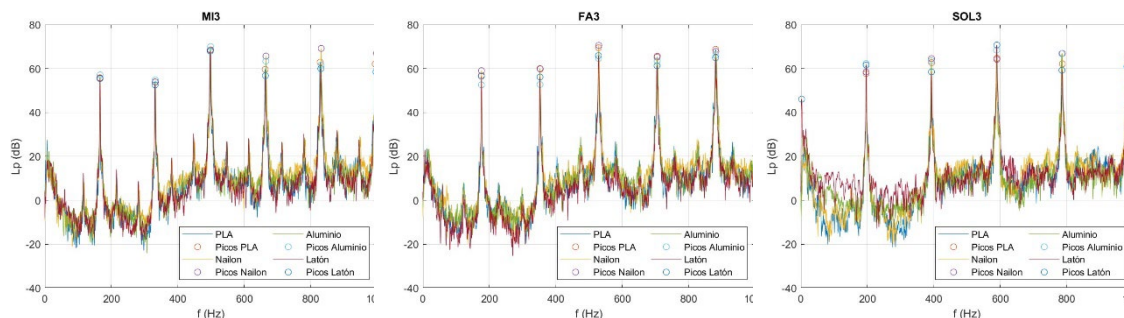


Figura 5 – Registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio) con las diferentes boquillas fabricadas con PLA, Nailon, Aluminio y Latón.

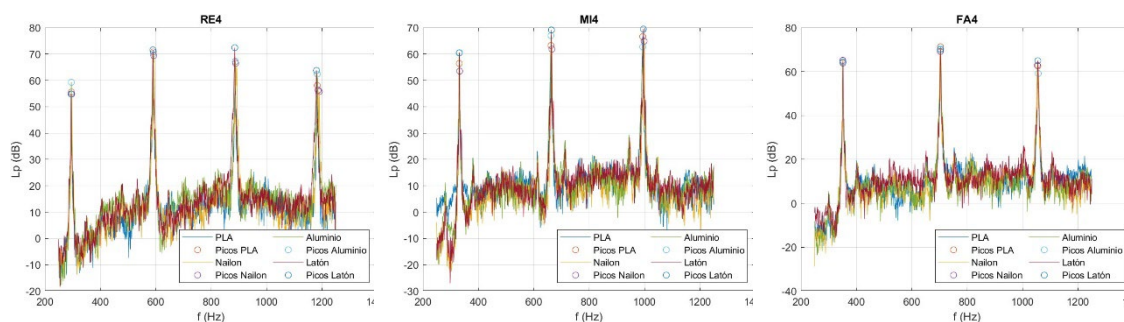


Figura 6 – Registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo) con las diferentes boquillas fabricadas con PLA, Nailon, Aluminio y Latón.

Se representan en las siguientes figuras las frecuencias centrales de los armónicos de las notas elegidas para representar los resultados de este trabajo. En la figura 7 se representan las notas de los registros graves (FA2, SOL2 y LA2), en la figura 8 se representan las notas de los registros medios (MI3, FA3 y SOL3), y en la figura 9 se representan las notas de los registros agudos (RE4, MI4 y FA4).

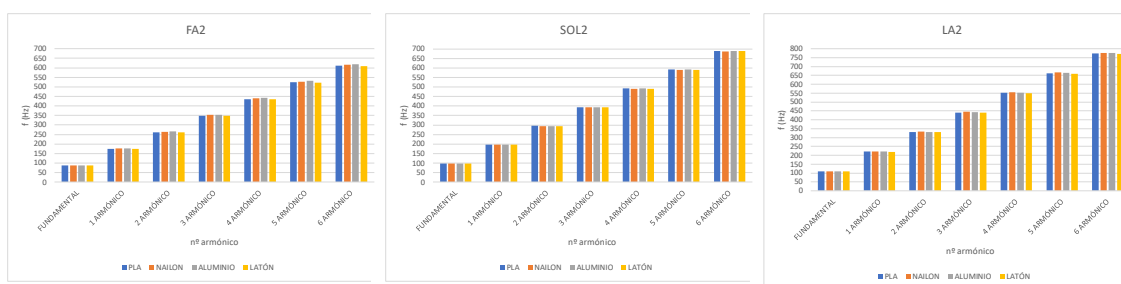


Figura 7 – Posiciones (frecuencia, Hz) centrales de diferentes armónicos en los registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave)

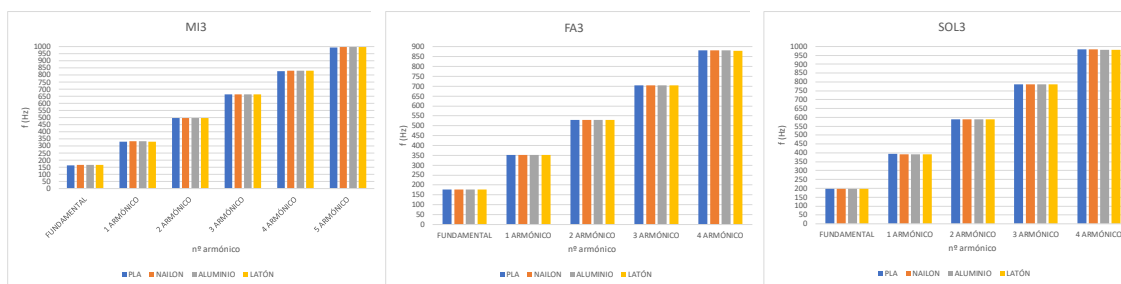


Figura 8 – Posiciones (frecuencia, Hz) centrales de diferentes armónicos en los registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio)



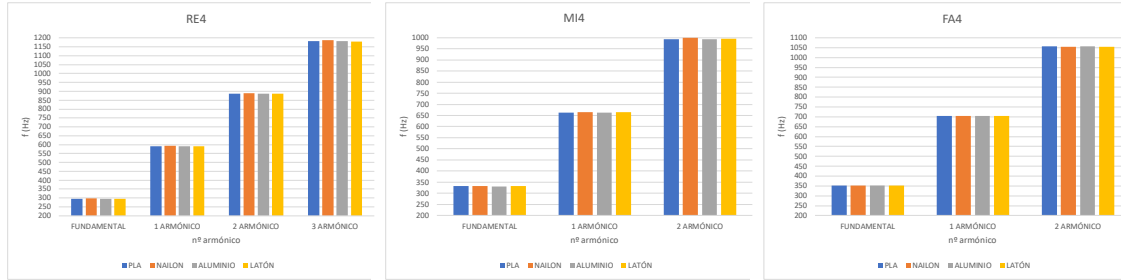


Figura 9 – Posiciones (frecuencia, Hz) centrales de diferentes armónicos en los registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo)

En las figuras 10, 11 y 12 se representan para registros graves, medios y agudos, los valores del ancho de banda de cada armónico en función del material de la boquilla. Y en las figuras 13, 14 y 15 se representan, también respectivamente para registros graves, medios y agudos, los niveles de presión sonora ( $L_p$  (dB)), de estos armónicos. Para facilitar la lectura, se han normalizado respecto al primero.

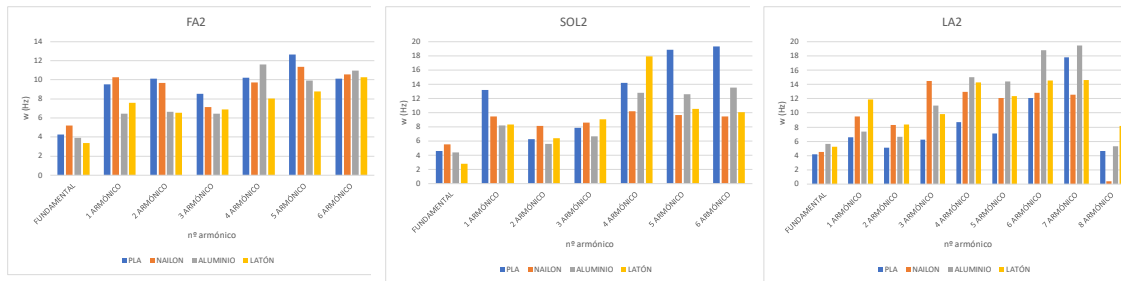


Figura 10 - Ancho de banda de diferentes armónicos en los registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave)

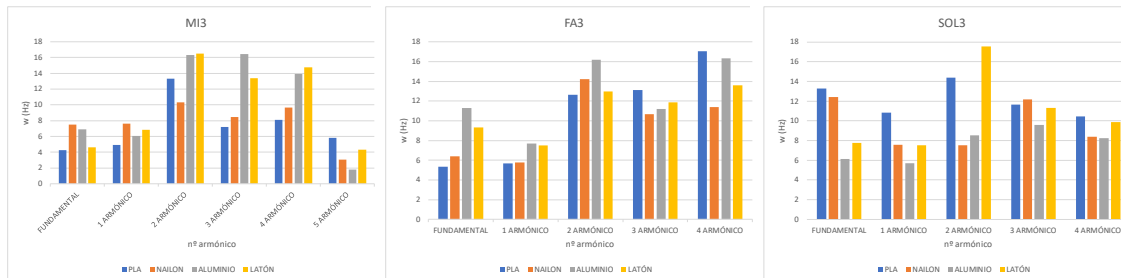


Figura 11 – Ancho de banda de diferentes armónicos en los registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio)

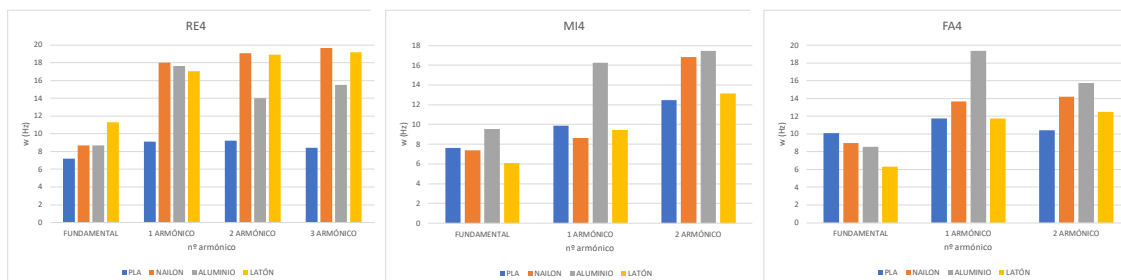


Figura 12 – Ancho de banda de diferentes armónicos en los registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo)

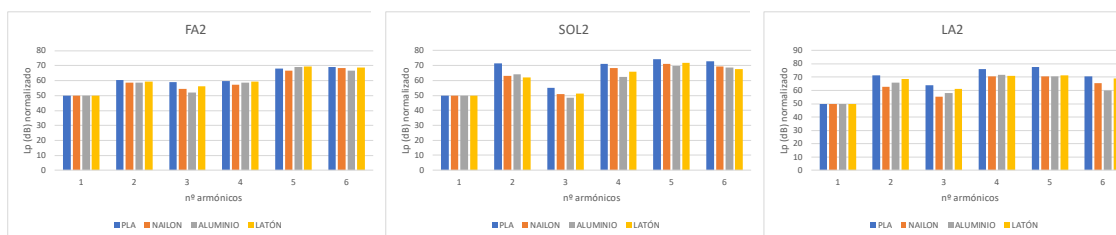


Figura 13 - Lp (dB) de diferentes armónicos en los registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave)

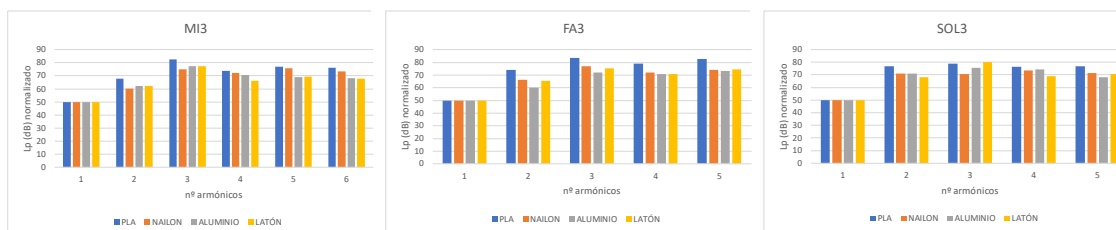


Figura 14 - Lp (dB) de diferentes armónicos en los registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio)

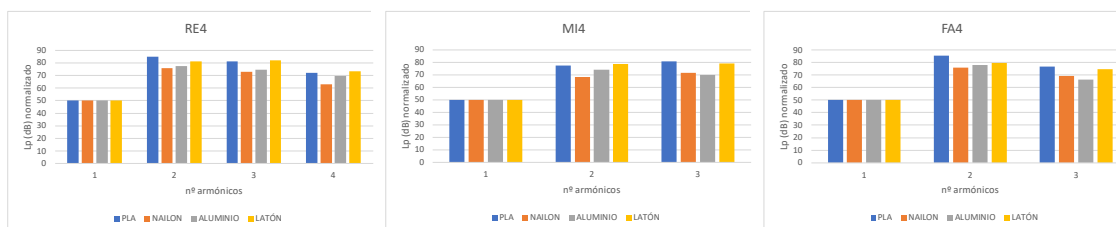


Figura 15 - Lp (dB) de diferentes armónicos en los registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo)

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan medidas y análisis acústico de boquillas de trombón fabricadas con diferentes materiales, que tienen propiedades mecánicas distintas. Las medidas se realizaron en la cámara anecoica de la EPS Gandía, y el intérprete es profesional experimentado.

Se observa que la afinación del trombón no depende del tipo de material de la boquilla, ya que todos los registros presentan una similitud en las frecuencias centrales de los distintos armónicos. Se han estudiado estos datos de forma estadística y las coincidencias son del 98%. Esto se refleja en las figuras 7 a 9.

Se analiza también el ancho de banda de cada armónico. Con menor ancho de banda, se podría asociar un factor de calidad mayor, y se podría considerar con menos pérdidas. Puede verse, a rasgos generales, valorando el conjunto de armónicos después del fundamental, que la boquilla fabricada con PLA presenta de media anchos más grandes, lo que indica pérdidas mayores. Después se encontraría el Nailon, y, por último, los otros dos materiales. Este efecto, además se deforma con la frecuencia (figuras 10 a 12), lo que no deja sacar conclusiones claras de este parámetro.

También se muestran los valores normalizados (respecto a la fundamental) del nivel de presión sonora, en las figuras 13 a 15. De esta manera, se puede comparar el timbre que se tiene para cada nota, en función de la boquilla usada.

Es de destacar que el timbre de un instrumento se conforma por la suma de los armónicos y dependiendo de la intensidad con la que un armónico destaque va a tener un sonido más oscuro (menos armónicos con frecuencia alta) o más brillante (más armónicos con frecuencia alta).

Al llegar a este punto, se advierte que la boquilla de PLA, fabricada en impresión 3D, no es maciza, sino que tiene espacios huecos en la copa de la boquilla, lo que se piensa hace que las medidas no sean comparables con el resto de boquillas. Hay un cambio en su morfología interna. Se muestra una sección que lo confirma (figura 16).

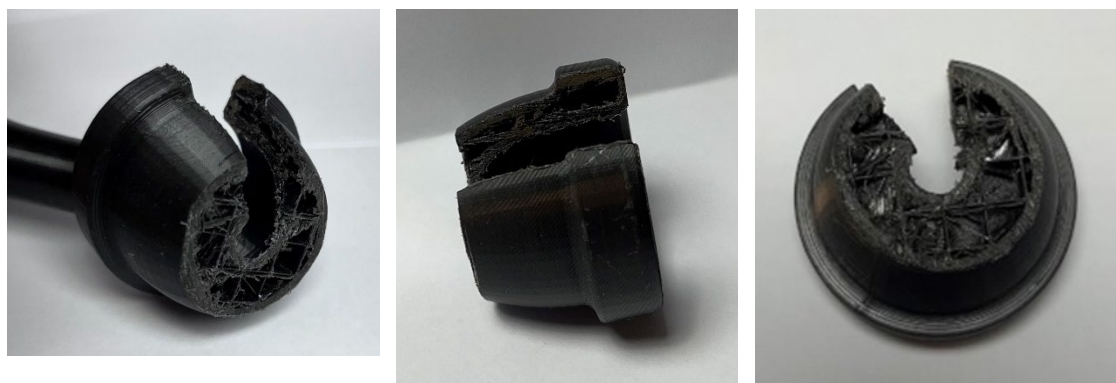


Figura 16 – Diferentes secciones transversales de la boquilla de PLA

Respecto al resto, el latón reproduce los armónicos de las frecuencias graves con una mayor intensidad que el resto, siendo el nailon y el aluminio prácticamente similares y produciendo estos dos un sonido más oscuro. Se puede afirmar que el latón tiene un sonido más brillante, pero entre el Nailon y el Aluminio, dependiendo del armónico uno es más brillante que el otro, por lo que no se puede concluir que uno sea más brillante que el otro.

En futuros trabajos se plantea el estudio del efecto del intérprete. El intérprete, sobre todo el profesional experimentado, siempre tiende a buscar el sonido de cada nota que tiene como modelo. El cambio entre intérpretes profesionales, o amateurs, seguramente nos puede llevar a conclusiones sobre la estabilidad del timbre en función de la boquilla en el caso de profesionales, o a que en amateurs (que no tienen una referencia de la nota tan clara) no se note tanto el efecto del material de la boquilla.

## REFERENCIAS

- [1] Doctoral. Programa de maestría en música. Universidad de Panamá 2012.
- [2] Tarrazó Serrano, D; Castiñeira Ibáñez, S; Rubio C.; Sánchez Aparisi, E. Estudio comparativo de la calidad tímbrica de una trompeta utilizando boquillas clásicas de metal y de PLA impresas en 3D. 48º Congreso Español de Acústica. Tecniacústica 2017. A Coruña, 2017.
- [3] Alba Fernández, J.; del Rey Tormos, R.; Bertó Carbó, L.; Ronda Sampayo, A.; Comparativa de armónicos en la reproducción de notas con diferentes trompetas. 42º Congreso Español de Acústica. Tecniacústica 2011. Cáceres, 2011.
- [4] González Ferrer, C.; Diseño y fabricación de boquillas de trombón con diferentes materiales. Trabajo Final de Grado. Grado en ingeniería mecánica. Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València, 2022.