



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño y fabricación de boquillas de trombón con
diferentes materiales.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Gonzalez Ferrer, Christian

Tutor/a: Peydró Rasero, Miguel Ángel

Cotutor/a: Rey Tormos, Romina María del

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen:

La boquilla de un instrumento es una parte fundamental para el instrumentista. No solamente es importante la elección de la gama del instrumento, si no, 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.

En este proyecto se estudiarán diferentes boquillas de trombón, elaboradas con distintos materiales. El objetivo de este proyecto abarca desde el diseño y fabricación de las boquillas, mediante torno CNC y torno convencional y la elección de los metales a utilizar.

Será necesario analizar diferentes formas y tamaños en cada uno de los materiales, así como verificar diferentes propiedades físicas, como la densidad, el peso, la resistencia mecánica, etc, con el fin, de intentar obtener una correlación entre estas propiedades y la calidad en las boquillas de trombón.

Palabras clave:

Diseño, fabricación, CNC, proceso de fabricación, acústica.

Resum:

L'embocadura d'un instrument és una part fonamental per a l'instrumentista. No sols és important l'elecció de la gamma de l'instrument, sinó, pot ser més important la selecció de l'embocadura. Una de les decisions a prendre per tot músic intèrpret és el material en què està fabricat el seu broquet, i la varietat de possibilitats, cada vegada és més ampli en els instruments de vent-metall.

En aquest projecte s'estudiaran diferents embocadures de trombó, fabricades amb diferents materials. L'objectiu d'aquest projecte (abraça) des del disseny i fabricació de les embocadures, mitjançant torn CNC i torn manual fins a la selecció de materials a utilitzar.

Serà necessari analitzar diferents formes i mides en cadascun dels materials, així com verificar diferents propietats físiques, com la densitat, el pes, la resistència mecànica, etc., amb la finalitat d'intentar obtenir una correlació entre aquestes propietats i la qualitat en les embocadures de trombó.

Paraules clau:

Disseny, fabricació, CNC, procés de fabricació, acústica.

Abstract

The mouthpiece of an instrument is a fundamental part for the player. Not only is the choice of the instrument's range important, but the choice of the mouthpiece can be even more important. One of the decisions to be made by every player is the material the mouthpiece is made of, and the range of possibilities is getting wider and wider in brass instruments.

In this project we will study different trombone mouthpieces made of different materials. The aim of this project covers the design and manufacture of the mouthpieces, using CNC lathe and conventional lathe and the choice of metals to be used.

It will be necessary to analyse different shapes and sizes in each of the materials, as well as to verify different physical properties, such as density, weight, mechanical strength, etc., in order to try to obtain a correlation between these properties and the quality of the materials, in order to try to obtain a correlation between these properties and the quality of the trombone mouthpieces.

Key words:

Design, production, CNC, manufacturing process, acoustics.

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos generales.....	11
1.1. Introducción	11
1.2. Objetivos generales.....	11
2. Fundamentos teóricos.....	12
2.1. Origen del trombón	12
2.2. Boquilla de un trombón.....	14
2.3. Cámara anecoica	17
2.4. Proceso de fabricación habitual.....	19
3. Diseño CAD	22
4. Elección de materiales.....	27
5. Proceso de fabricación	32
5.1. Exterior de la boquilla	35
5.2. Interior del tudel.....	38
5.3. Copa	42
5.4. Aro.....	48
5.5. Exterior del tudel.....	49
6. Estudio económico	53
6.1. Presupuestos en función del lote	54
6.2. Discusión de la viabilidad económica.....	58
7. Resultados: Comparaciones en función del material	59
7.1. Resultados grabación.....	60
7.2. Comparación de resultados	69
8. Conclusiones y líneas futuras	75
8.1. Conclusiones	75
8.2. Líneas futuras	75
9. Bibliografía	76
10. Anejos	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Serie armónica del Do1.....	12
Figura 2 Tesitura del trombón.....	13
Figura 3 Sección longitudinal de la boquilla final del proyecto.....	14
Figura 4 Cámara acústica del Campus de Gandía junto con el trombón.....	18
Figura 5 Cámara anecoica del Campus de Gandía, día de calibración del software de medición.....	18
Figura 6 Proceso de fabricación de Vincent Bach Fuente: Bach Brass.....	20
Figura 7 Modelo CAD de boquilla Vincent Bach.....	22
Figura 8 Impresión 3D de la modelo CAD.....	22
Figura 9 Modelo CAD de la boquilla JK exclusive.....	23
Figura 10 Impresión 3D del modelo CAD.....	23
Figura 11 Modelo CAD de la boquilla Christian Lindberg.....	24
Figura 12 Impresión 3D del modelo CAD.....	24
Figura 13 Modelo CAD de boquilla Christian Lindberg modificada.....	25
Figura 14 Impresión 3D del modelo CAD modificado.....	25
Figura 15 Listado de materiales tras el filtrado en el Granta EduPack.....	28
Figura 16 Torno CNC Pinacho ST 225 x 1000 Fuente: Pinacho.....	33
Figura 17 Torno manual Pinacho S-90/200.....	33
Figura 18 Torno manual Pinacho SP/165.....	34
Figura 19 Sierra de cinta Heller.....	34
Figura 20 Corte del tocho de aluminio.....	34
Figura 21 Amarre del tocho.....	35
Figura 22 Esquema utilizado de referencia para la programación CNC.....	35
Figura 23 Contorno, resultado del primer mecanizado.....	36
Figura 24 Resultado del mecanizado en CNC.....	36
Figura 25 Código CNC.....	37
Figura 26 Sección longitudinal de la boquilla señalando las operaciones de taladrado realizadas.....	38
Figura 27 Posiciones de las velocidades en el torno manual.....	40
Figura 28 Proceso productivo del interior del tudel.....	41
Figura 29 Secuencia de taladrado progresivo para la copa.....	42
Figura 30 Molde de la geometría interna de la copa.....	43
Figura 31 Bloque de aluminio con la geometría de la copa.....	43
Figura 32 Comprobación de la geometría proporcionada por la broca modificada.....	43
Figura 33 Broca modificada (abajo) comparada con una broca de M10.....	44
Figura 34 Proceso de producción del interior de la copa.....	47
Figura 35 Mecanizado del chaflán del aro.....	48
Figura 36 Lijado del borde del aro.....	48
Figura 37 Ajuste del grado de inclinación de la herramienta.....	49
Figura 38 Selector de velocidades del torno manual.....	51
Figura 39 Proceso de mecanizado cónico del exterior del tudel.....	51
Figura 40 Proceso de lijado del tudel.....	51
Figura 41 Resultado final del proceso de producción.....	52
Figura 42 Presupuesto para lote de 32 boquillas.....	54
Figura 43 Presupuesto para lote de 64 boquillas.....	54
Figura 44 Presupuesto para lote de 160 boquillas.....	55
Figura 45 Presupuesto para lote de 320 boquillas.....	55
Figura 46 Presupuesto para lote de 640 boquillas.....	56
Figura 47 Presupuesto para lote de 1920 boquillas.....	56
Figura 48 Presupuesto para lote de 3200 boquillas.....	57
Figura 49 Presupuesto para lote de 32000 boquillas.....	57

Figura 50 Gráfica de Precio unitario-Lote.....	58
Figura 51 Espectro de frecuencias del registro grave.....	61
Figura 52 Espectro de frecuencias del registro medio	61
Figura 53 Espectro de frecuencia del registro agudo	62
Figura 54 Representación gráfica del valor de la w	63
Figura 55 Frecuencias en función del material. Registro grave.....	63
Figura 56 Frecuencias en función del material. Registro medio	64
Figura 57 Frecuencias en función del material. Registro agudo.....	64
Figura 58 Ancho de los armónicos en función del material. Registro grave	65
Figura 59 Ancho de los armónicos en función del material. Registro medio	66
Figura 60 Ancho de los armónicos en función del material. Registro agudo	66
Figura 61 Ejemplificación de la morfología interna de la copa fabricada en impresora 3D	68
Figura 62 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota FA2.....	69
Figura 63 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota SOL2.....	69
Figura 64 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota LA2.....	70
Figura 65 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota MI3	71
Figura 66 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota FA3.....	72
Figura 67 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota SOL3.....	72
Figura 68 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota RE4.....	73
Figura 69 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota MI4	73
Figura 70 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota FA4.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación entre el número del armónico y el intervalo.....	13
Tabla 2 Influencia de las dimensiones en ciertos parámetros de la boquilla [4].....	17
Tabla 3 Materiales compatibles con los requisitos del producto	28
Tabla 4 Propiedades físicas del PLA ^[12]	29
Tabla 5 Propiedades físicas de PA6	30
Tabla 6 Propiedades físicas del aluminio.....	30
Tabla 7 Propiedades físicas del latón ^[13]	31
Tabla 8 Velocidades de corte recomendadas en función del material	32
Tabla 9 Correlación de velocidades de corte con diámetros para la selección de la velocidad de giro	32
Tabla 10 Velocidades de giro según tablas para el interior del tudel.....	39
Tabla 11 Velocidades de giro según fórmula para el interior del tudel.....	39
Tabla 12 Velocidades de giro según experiencia y tablas para el interior del tudel	40
Tabla 13 Velocidades de giro según tablas para el interior de la copa	44
Tabla 14 Velocidades de giro según fórmula para el interior de la copa	45
Tabla 15 Velocidades de giro según experiencia y tablas para el interior de la copa	45
Tabla 16 Velocidades de giro según tablas para el exterior del tudel.....	49
Tabla 17 Velocidades de giro según tablas para el exterior del tudel	50
Tabla 18 Velocidades de giro según experiencia y tablas para el exterior del tudel.....	50
Tabla 19 Valores de velocidad en rpm del tercer torno manual	51
Tabla 20 Relación del lote de fabricación con el precio unitario.....	58
Tabla 21 Tabla del nombre de los archivos de la grabación de armónicos	59

1. Introducción y objetivos generales

1.1. Introducción

En este proyecto se estudiarán diferentes boquillas de trombón, elaboradas, mediante técnicas de fabricación especialmente diseñadas para este proyecto, con distintos materiales. El objetivo de este proyecto abarca desde el diseño y fabricación de las boquillas, mediante torno CNC y torno convencional, la elección de los materiales a utilizar, y el análisis de la sonoridad del trombón con cada una de ellas. Será necesario realizar el análisis de armónicos en cámara anecoica, así como analizar diferentes parámetros de los materiales, con el fin de intentar obtener una correlación entre estos y el sonido que provocan.

A lo largo de la memoria se van a encontrar estos diferentes capítulos:

Antes de todo, se ha estudiado la necesidad del producto y que requerimientos tiene el cliente, en este caso el cliente es el músico profesional que se contrata para la prueba acústica que luego se comentará.

En el capítulo tercero, ya se encuentran los primeros diseños y prototipos en 3D que se realizan con el fin de que el profesional aporte sus opiniones respecto al sonido y a la comodidad.

En el capítulo cuarto, se realiza un estudio de materiales, para conseguir una lista de los posibles materiales que tienen propiedades válidas para el uso que se le va a dar al material.

En el capítulo quinto, ya en sí la fase de fabricación, es donde ya se tiene acordado el diseño y se ha establecido un proceso productivo acorde a las herramientas disponibles.

En el capítulo sexto, se realiza un estudio de la viabilidad económica que tiene este proyecto a diferentes escalas de producción.

En principio aquí se podría acabar el proceso, pero se ha querido ir un paso más allá, y en el capítulo séptimo se ha analizado en una cámara anecoica, cada una de las boquillas fabricadas en los diferentes materiales. Tras este análisis se obtiene unos resultados que permiten mejorar el producto.

Por último, faltaría la fase que hace referencia a la mejora del producto, basándose en los análisis anteriormente mencionados y en la opinión del intérprete. Pero esta fase se dejará para líneas futuras.

1.2. Objetivos generales

Este proyecto cuenta con tres fases claramente diferenciadas, el primer objetivo tiene como finalidad conseguir el diseño óptimo y adecuado para el intérprete. Por otra parte, el objetivo principal es diseñar un proceso de fabricación que se pueda llevar a cabo con las herramientas disponibles en el Campus de Alcoy, materializando las boquillas de trombón previamente diseñadas, esto conlleva tras de sí una elección de materiales. Como norma general, el material por excelencia es el latón, así que se pretende comparar entre los diversos materiales seleccionados, para señalar, en que aspectos afecta cada material al sonido.

Cabe destacar que debido a que la fabricación está limitada a las herramientas del Campus de Alcoy, este proceso de fabricación es único y completamente adaptado a las instalaciones. Es por eso por lo que a lo largo del proyecto se destacan diferentes formas de fabricar el mismo elemento, pero con herramientas más eficaces.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Origen del trombón

El origen del trombón proviene de la trompeta primitiva importada de Egipto, que se construye de cobre, plata o asta, y más tarde en la Edad Media, de oricalco. La antigua trompeta era de forma recta, en su extremo superior se ensanchaba en forma de campana. Este diseño sufrió diversas transformaciones, y es particularmente de la “buccina” donde ya se deriva al nombre actual de Trombón”. Este instrumento primitivo solamente constaba de una nota fundamental y sus armónicos. ^[1]

Por un cuadro de Perugino, se puede establecer que el trombón de vara se empezó a utilizar a finales del siglo XV, aunque no se tienen datos de la familia completa del trombón hasta el siglo XVI.

El “sacabuche” fue el primer instrumento de cobre que, mediante una vara móvil, dispuso de los armónicos en las siete posiciones, por esta razón fue considerado el más perfecto instrumento de boquilla. En dicho instrumento, colocando la vara en las siete diferentes posiciones, según el orden de la escala cromática descendente, se obtienen los sonidos armónicos correspondientes a cada una de las siete longitudes asumidas por la vara.

La familia del trombón consta de cuatro tipos, el trombón soprano (en desuso), el trombón alto en Mib, el trombón tenor en Sib y el bajo en Fa.

El proyecto se centra en la fabricación de boquillas para el trombón tenor, ya que es el más utilizado hoy en día, por su versatilidad de estilos y facilidad de interpretación respecto a los demás.

Para poner en contexto el estudio acústico, cabe destacar de que se trata la serie armónica, en términos matemáticos esta superposición de ondas en proporciones armónicas se puede expresar de manera sencilla mediante la siguiente serie numérica, donde n es un número natural y f_1 es la frecuencia fundamental que origina la serie:^[2]

$$\sum_{n=1}^{\infty} n f_1 = 1 f_1 + 2 f_1 + 3 f_1 + 4 f_1$$

Utilizando notación musical y teniendo en cuenta que la elección de la fundamental es arbitraria, la expresión anterior se puede representar de la siguiente forma:



Figura 1 Serie armónica del Do1

Para entender de otra forma el concepto de serie armónica, en esta tabla 1 se muestra la relación de los armónicos con el intervalo que forman con la nota fundamental.

Valor de n (armónico)	Intervalos generados
1	Fundamental
2	Octava
3	Quinta Justa
4	Cuarta Justa
5	Tercera Mayor
6	Tercera Menor
7	Séptima Menor
8	Segunda Mayor
9	Segunda Mayor
10	Segunda Mayor
11	Séptima Mayor
12	Segunda Menor

Tabla 1 Relación entre el número del armónico y el intervalo

Relacionado con lo anterior, se debe conocer la tesitura del trombón para entender la elección del intervalo en el estudio acústico.

El termino de tesitura hace referencia a la zona de la extensión de sonidos de frecuencia determinada que es capaz de emitir un instrumento. Se suele indicar señalando el intervalo de notas comprendido entre la nota más grave y la más aguda que un determinado instrumento es capaz de emitir.



Figura 2 Tesitura del trombón

2.2. Boquilla de un trombón

La boquilla de un instrumento musical, en este caso de un trombón, es una de las partes más importantes de un instrumento, por no decir que es la que más afecta a éste. Es por eso por lo que los músicos invierten bastante en adquirir la que más se ajuste a él. A través de la boquilla, el músico es capaz de generar el sonido mediante métodos humanos, utilizando la vibración de los labios del músico.

Las boquillas se apoyan contra los labios del ejecutante, por esto es esencial que la boquilla se acomode a cada uno de los distintos labios que existen. La boquilla es una copa de metal, generalmente de latón. Estos instrumentos son capaces de cambiar de nota sin hacer uso de nada más que la propia boquilla, modificando la velocidad del aire y cambiando la presión.

La boquilla, como se ha comentado anteriormente, es uno de los factores críticos en la producción del sonido del trombón. Hay muchas combinaciones y tamaños. Para la elección de una boquilla hay que tener en cuenta las características individuales, físicas y mentales de cada instrumentista. También hay que tener en cuenta factores como la posterior utilización: jazz, solista, música de cámara, ensemble etc...

Este proyecto se centra en el uso del trombón en la música de banda. Para el diseño se ha tenido en cuenta la morfología del intérprete el cual será el encargado de probarlas en la cámara anecoica del campus de Gandía.

Por último, para tener unas ligeras nociones acerca del campo de las boquillas, a continuación, se nombran las partes de una boquilla de trombón y brevemente se comenta en que influye cada una de ellas a la hora de tocar.^[3]

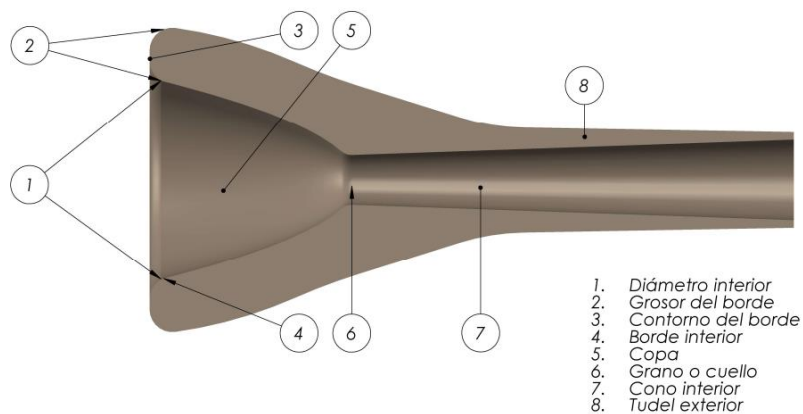


Figura 3 Sección longitudinal de la boquilla final del proyecto

El aro o anillo se divide en estos cuatro parámetros: diámetro interior, grosor del borde, contorno del bordo y borde interior.

- Diámetro interior: Es la dimensión del interior de la circunferencia del anillo. En esta cavidad es donde el intérprete hace vibrar el labio, esta dimensión está directamente relacionada con el tipo de labio que tenga el músico.
- Grosor del borde: Este factor también tiene una relación directa con el grosor del labio. Es la parte de la boquilla sobre la que reposa la carne del labio del intérprete, por tanto, repercute en la comodidad a la hora de tocar. Si el grosor del borde es ancho, permite tocar durante un periodo de tiempo mayor, ya que el labio reposa sobre una superficie más amplia. El inconveniente de esto es que presiona demasiado los labios y no permite que la articulación sea fácil.
- Contorno del borde: Es el punto donde se concentra la presión del labio contra la boquilla. La presión de este punto está relacionada con el tipo de circunferencia que forme el borde. Si dicha circunferencia es grande, el punto de contacto será menos agudo y habrá una sensación de mayor comodidad, en cambio si es pequeña, se tendrá más riesgo de lesión.
- Borde interior: Es el punto donde los labios vibran, la forma de este borde repercute directamente en la comodidad del interprete, un canto excesivamente plano proporcionará mayor control sobre la boquilla, pero a cambio de un mayor riesgo de lesión, por otra parte, un canto excesivamente curvado podrá afectar negativamente al intérprete a la hora de tocar. Así que se deberá buscar el equilibrio entre ambos, este factor depende básicamente de la forma de tocar de cada músico.
- Copa: Hay dos factores que definen la copa de una boquilla, la profundidad y la forma de la copa son los responsables de la sonoridad y la riqueza de armónicos.
 - Profundidad: La mayor o menor profundidad de la copa influye directamente en la facilidad para la emisión de notas agudas o graves. Cuanto mayor sea la profundidad más probabilidad hay de que las notas graves sean de fácil emisión, además de proporcionar una mayor riqueza de armónicos y mejorando la sonoridad en general. Estas boquillas suelen estar utilizadas en el ámbito de la música clásica, y las boquillas con poca profundidad son empleadas en el jazz principalmente.
 - Forma: Hoy en día existen dos tipos, en C y en V.
 - ✓ Las boquillas en forma de C producen un sonido más oscuro ya que estas oponen una mayor resistencia al paso del aire, esto provoca que des de un punto de vista más general, se pueda afirmar que mejora los armónicos del instrumento.
 - ✓ La forma en V facilita la proyección y da un sonido más claro. El inconveniente de este tipo de forma es que se pierde parte de la riqueza de armónicos y la profundidad se ve afectada.

- Grano: Esta parte de la boquilla podría considerarse una de las que más afecta a una boquilla. Es el regulador de la presión y la cantidad de aire que se introduce en el instrumento, por lo que está relacionado con la resistencia al aire.

Si el grano es ancho permitirá un sonido con volumen y amplio, proporcionando una mayor columna de aire, pero agotando al intérprete en exceso, ya que el intérprete tendrá que modificar su fisiología en la garganta para reglar el caudal de aire, al que puede estar cómodo tocando. El grano debe estar dimensionado en relación con la capacidad física, la profundidad de la copa y el tipo de música que se va a interpretar.

Un grano estrecho puede estrangular la columna de aire y dificultar la emisión, aunque facilitará la emisión de notas agudas.

- 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.

También es importante la forma del desarrollo del cono interior, ya que en un cono con un desarrollo progresivo y uniforme será de suave y fácil emisión. En cambio, en un desarrollo brusco al principio y amplio durante el resto del cono, producirá un sonido más brillante y agresivo.

- Tudel exterior: Esta es la parte de la boquilla que encaja con el receptor del instrumento. La importancia de este elemento radica en la conicidad de la que depende el ajuste perfecto con el instrumento, ya que, en caso contrario, la calidad y respuesta se verían inmediatamente disminuidas.

En función de la longitud del cono, entrará más o menos en el instrumento, lo que afectará a la dimensión de la cámara que se encuentra entre el final de la boquilla y la pared de encaje del tudel del instrumento, La dimensión de esta afecta en gran medida a la resistencia y claridad del sonido final.

La influencia de algunos de los parámetros anteriormente mencionados se puede apreciar en la siguiente tabla 2.

Borde	
Ancho	<i>Aumenta la resistencia</i>
Estrecho	<i>Mejora la flexibilidad y rango</i>
Redondo	<i>Mejora la comodidad</i>
Afilado	<i>aumenta el brillo y la precisión del ataque</i>

Copa	
Grande	<i>Aumenta el volumen y el control</i>
Pequeña	<i>Alivia la fatiga, deficiencia de sonido</i>
Profunda	<i>Oscurece el sonido, mejora el registro grave</i>
Poco profunda	<i>Ilumina el sonido, mejora la respuesta en el registro agudo</i>

Grano	
Grande	<i>Aumenta la libertad de soplado, el volumen y el sonido</i>
Pequeño	<i>Aumenta la resistencia, la duración, pero aplana el registro agudo</i>

Tabla 2 Influencia de las dimensiones en ciertos parámetros de la boquilla ^[4]

2.3. Cámara anecoica

Se entiende por cámara anecoica a aquella sala diseñada para absorber en su totalidad las reflexiones producidas por ondas acústicas en cualquiera de las superficies que la conforman.^[5]

El sonido es una onda que transmite energía mecánica a través de un medio material. De este modo, cuando una onda acústica incide sobre una superficie, la onda es reflejada y/o absorbida por dicha superficie. En la naturaleza, este fenómeno se produce en cualquier entorno, salvo en el vacío, donde el sonido no se puede transmitir. En cualquier medio a través del cual se propague el sonido, tienen lugar la reflexión y la absorción. Fruto de la reflexión ocurren diversos fenómenos como la reverberación y el eco.

La zona óptima para las mediciones que se pretenden realizar en este proyecto debe estar libre de reflexiones, ya que se desea registrar las ondas sonoras que el trombón emite con cada tipo de boquilla. Cualquier reflexión en el entorno de registro, modificará estas ondas, tanto de intensidad como en frecuencia. Además, las condiciones de aislamiento acústico deben de ser muy exigentes, para que no llegue al registro ningún ruido del exterior. Esto se consigue utilizando métodos de construcción y aislamiento muy particulares, con un diseño y elección de materiales muy específicos. Una cámara anecoica acústica cumple con estas características.

A modo de resumen, se puede decir que la cámara anecoica se encarga de que estos fenómenos de reflexión no sucedan, proporcionando una grabación del sonido emitido por el instrumento limpia y sin ningún tipo de alteración.



Figura 4 Cámara acústica del Campus de Gandía junto con el trombón

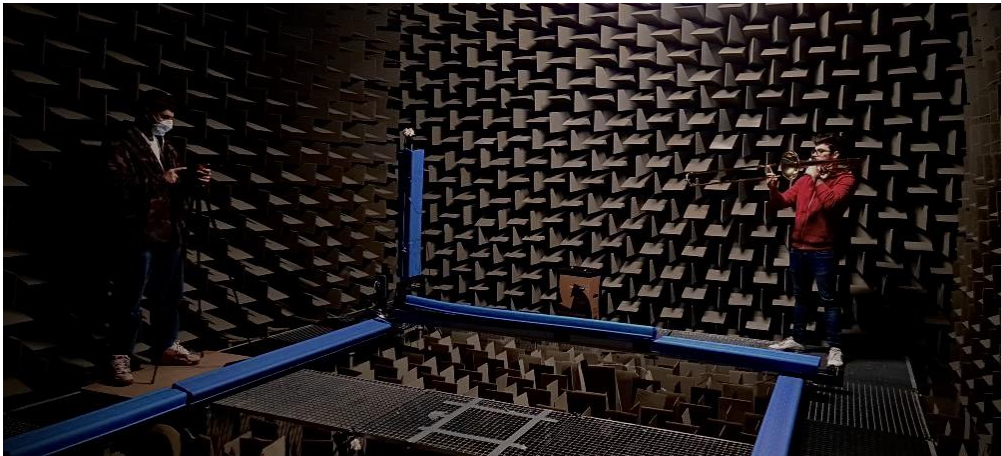


Figura 5 Cámara anecoica del Campus de Gandía, día de calibración del software de medición

2.4. Proceso de fabricación habitual

Se entiende por proceso de fabricación al conjunto de operaciones unitarias para la modificación de materias primas.

La totalidad de este proyecto se basa en la fabricación por arranque de material. Taladrado, torneado, fresado, rectificado son los procesos más utilizados. En estos casos, la pieza se fabrica mediante pérdida de material, llamado viruta, Estos cortes de virutas de pueden clasificar de la siguiente manera:^[6]

- ✓ Arranque de viruta por medio de filos determinados geoméricamente: Torneado, fresado, taladrado...
- ✓ Arranque de viruta por medio de filos indeterminados: El material es arrancado por un material abrasivo, como, por ejemplo: Pulido, bruñido, limado...

Este proceso tiene como resultado unas piezas con tolerancias pequeñas y buenos acabados superficiales, aunque se pierde gran cantidad del material, ya que se parte de una pieza de tamaño aproximado (pieza en bruto). A continuación, se describen los procesos que se emplean habitualmente en esta industria.

- Torneado: Este proceso se utiliza para la fabricación de piezas de revolución, precisamente por eso es porque se utiliza en la fabricación de boquillas. Permite mecanizar con pequeñas tolerancias y acabados superficiales buenos. Por lo tanto, el torneado consiste en arrancar virutas a través de una herramienta, con un solo filo, que avanza mientras la pieza gira.
- Taladrado: Con este proceso se pueden realizar agujeros ciegos o pasantes en las piezas. Este proceso se utiliza en las boquillas para realizar el agujero pasante del diámetro del grano. Como herramienta se emplean útiles generalmente de varios filos, llamados brocas.

Centrándose en la fabricación de las boquillas, se conoce que las empresas tecnológicas dedicadas a esto, como: Bach Stradivarius de Selmer, Denis Wick London..., des de hace décadas cuentan con multitud de herramientas específicas, moldes y sobre todo un proceso de fabricación estandarizado.

Por ejemplo, el caso de Bach, esta empresa empieza la fabricación de boquillas en el año 1918, que rápidamente creció hasta el 1964 dónde Vincent Bach vende su empresa a Selmer Company.^[7]

Es por eso por lo que se pone énfasis a lo largo del proyecto, en que este proceso de fabricación es especializado y requiere de ciertas herramientas que no se han podido adquirir por diversas razones. Así pues, la fabricación se ha llevado a cabo igualmente.

A continuación, se muestra el proceso de fabricación totalmente automatizado con el que se cuenta en la empresa “Vincent Bach”, en la figura 6 se muestra el proceso de manera secuencial, siendo éste similar al que se ha adoptado en el taller del Campus de Alcoy, pero con la indudable inversión en herramientas con la que se cuenta en estas empresas dedicadas a la fabricación de estos productos.



Figura 6 a) Aproximación al contorno final de la boquilla



Figura 6 b) Proceso de avellanado interno

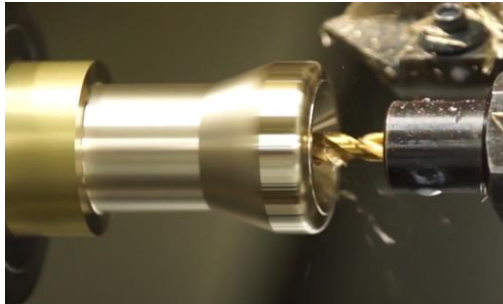


Figura 6 c) Proceso de taladrado del grano



Figura 6 d) Proceso de fabricación de la copa

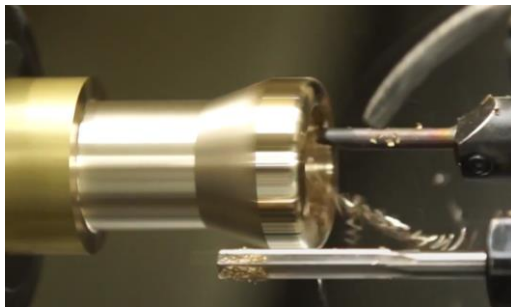


Figura 6 e) Pulido del interior de la copa

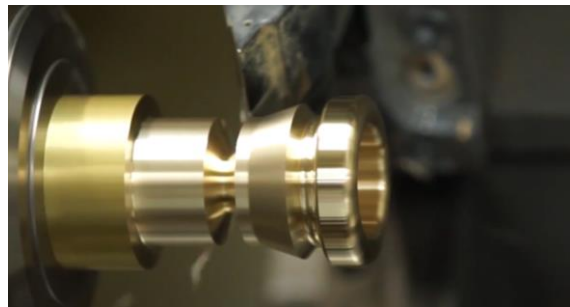


Figura 6 f) Proceso de torneado del contorno de la boquilla

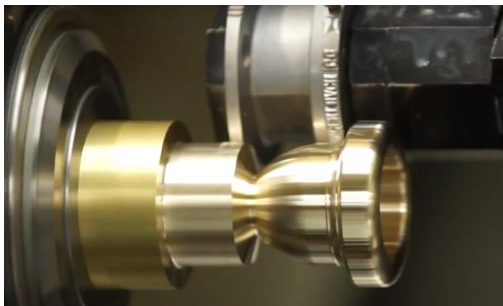


Figura 6 g) Estampación de la marca y modelo de la boquilla

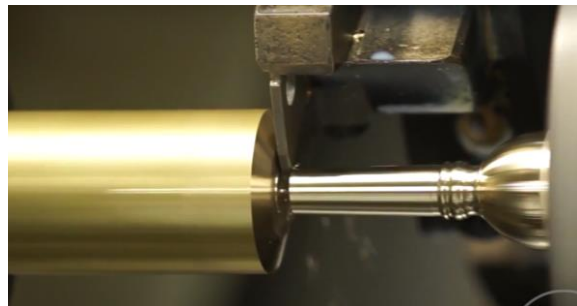


Figura 6 h) Torneado del tudel y mandrinado

Figura 6 Proceso de fabricación de Vincent Bach Fuente: Bach Brass

Este proceso está realizado en su totalidad en un torno con control numérico, que anteriormente se ha programado según la geometría de cada pieza que se ha confeccionado.

Se denomina programa de control numérico a la secuencia de instrucciones escritas con caracteres alfanuméricos que utilizan las máquinas-herramientas de control numérico.

El programa de control numérico utiliza un lenguaje específico que, por estar normalizado, es muy similar en todas las distintas marcas de controles numéricos existentes en la actualidad.

El contenido del programa está constituido esencialmente por:

- Información geométrica
- Información tecnológica

3. Diseño CAD

Para desarrollar la boquilla definitiva que a posterior será mecanizada en torno, se han realizado tres posibles diseños. Estos diseños se han impreso en 3D para que el músico encargado de analizarlas corroborara las dimensiones de cada boquilla. La conclusión de esta primera toma de contacto es la de seleccionar uno de los diseños, y a partir de ahí mejorar hasta conseguir el diseño final, que posteriormente será fabricado en el taller.

Primera propuesta:

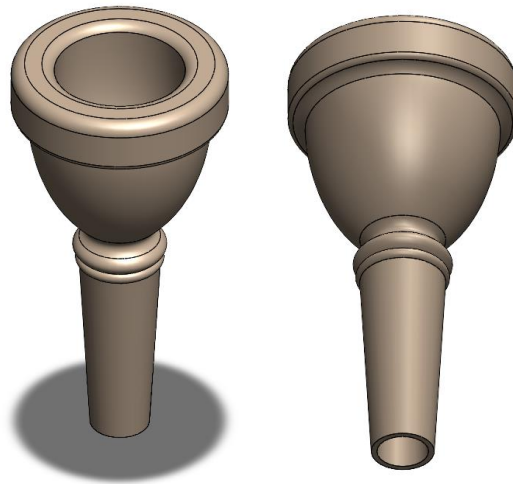


Figura 7 Modelo CAD de boquilla Vincent Bach

Esta boquilla se ha diseñado teniendo como referencia la boquilla “Vincent Bach 5GS”, esta boquilla consta de una copa en forma de C con una profundidad media consiguiendo así un sonido más oscuro.^[8] Esta boquilla como ha sido relativamente sencillo de modelar, ya que se dispone de una físicamente y se ha podido medir sobre ella. A excepción de la curvatura de la copa, que ha sido imposible de medir con total exactitud.

Este diseño se ha impreso en 3D y este es el resultado tras lijar el aro de la boquilla manualmente.



Figura 8 Impresión 3D de la modelo CAD

Segunda propuesta:

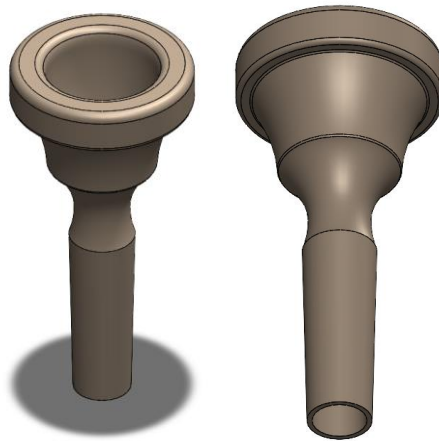


Figura 9 Modelo CAD de la boquilla JK exclusive

Esta boquilla se diseñó teniendo como base la boquilla “JK exclusive 6CL”, esta boquilla consta de una copa en forma de U con una profundidad media, esto consigue un sonido más oscuro, aunque con el diseño exterior se elimina material de la zona de resonancia lo que provoca que el sonido sea ligeramente más brillante.^[9]

Por el contrario, esta boquilla tiene una dimensión del aro inferior a la anterior, es por esto por lo que se obvió esta boquilla des de el primer momento.

Esta boquilla, al igual que la anterior se dispone de un modelo real físicamente, así pues, su modelaje es bastante preciso, exceptuando de igual modo, la copa.

Este diseño se ha impreso en 3D y este es el resultado tras lijar el aro de la boquilla manualmente.



Figura 10 Impresión 3D del modelo CAD

Tercera propuesta:

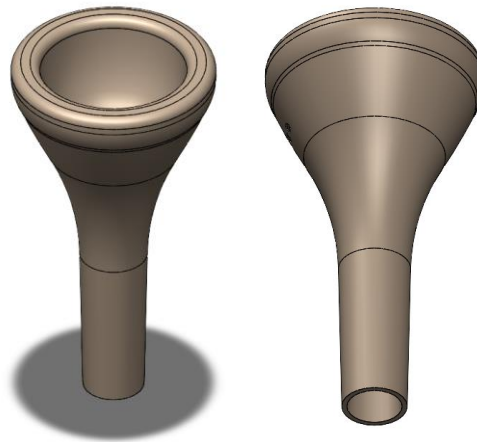


Figura 11 Modelo CAD de la boquilla Christian Lindberg

Esta boquilla se diseñó teniendo como base la boquilla “Christian Lindberg 2 CL”, esta boquilla consta de una copa en forma de U con una profundidad media, esto consigue un sonido más oscuro, y con la ayuda del diseño exterior, con más material del necesario, se consigue que el sonido sea mínimamente más oscuro.^[10] Es por esto y por la comodidad del aro, que es más redondeado que la primera propuesta, por lo que se escogió esta propuesta.

Sin embargo, el diámetro del aro era excesivo en este primer diseño, así que, por sugerencia del intérprete, se modificó este parámetro, consiguiendo la boquilla de la cual se va a hacer referencia durante todo el proyecto.

De esta boquilla no se dispone ningún modelo físico y se han tomado los datos principales (diámetro interior del aro, tipo de copa, diámetro del grano) de la página oficial de la marca, y se han supuesto otros datos, siguiendo la tendencia de las otras boquillas.

Este diseño se ha impreso en 3D y este es el resultado tras lijar el aro de la boquilla manualmente.



Figura 12 Impresión 3D del modelo CAD

Propuesta final:

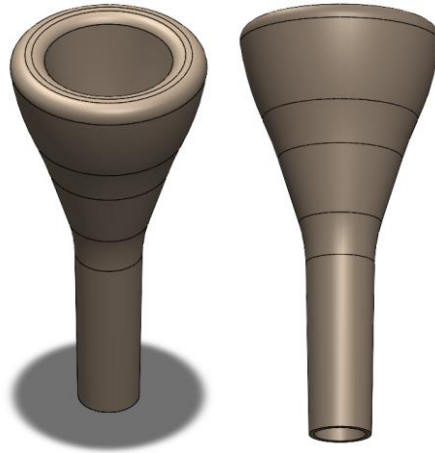


Figura 13 Modelo CAD de boquilla Christian Lindberg modificada

Esta es la modificación de la última propuesta, en esta se conservan todos los parámetros a excepción del diámetro del aro, y todo lo que conlleva esta modificación.

Esta boquilla teóricamente ofrece un sonido oscuro, y al tener el aro con esta forma tan redondeada proporciona una comodidad para el intérprete que se traduce en una alta flexibilidad.

La elección de esta boquilla no ha sido únicamente en base a los datos teóricos que se han comentado anteriormente, sino que una vez realizados los diseños se imprimieron en 3D.

Como esta boquilla se ha modelado en base a la anterior, todos los datos modificados han sido en base a las recomendaciones del profesional.

Este diseño se ha impreso en 3D y este es el resultado:



Figura 14 Impresión 3D del modelo CAD modificado

Tras probar estas boquillas se concluyó que esta era la boquilla óptima para realizar el estudio.

Para esta elección se tuvieron en cuenta únicamente 3 factores:

- La comodidad que el músico tenía con la geometría del aro y de la facilidad de vibración de la copa.
- El sonido que cada una de ellas ofrecía.
- La facilidad de fabricación, ya que el objetivo era fabricar esas boquillas en un torno, se buscó la geometría que facilitara esta operación lo máximo posible.

4. Elección de materiales

La elección de materiales en este proyecto ha estado marcada por dos factores:

- Los requerimientos técnicos del material
- La posibilidad de disponer de ese material para su posterior fabricación

Así que en primer lugar se va a comentar que requerimientos se han utilizado para filtrar los materiales, en el programa informático *Granta EduPack*.^[11]

-Partiendo de la necesidad de que sean materiales metálicos o poliméricos, se han filtrados solamente estas dos categorías de materiales.

-Dado que las boquillas se van a fabricar en un torno, se exige que los materiales trabajen bien tanto en torneado como en taladrado, a parte de la boquilla fabricada en la impresora 3D, que es de PLA, por exigencias del proceso, aunque este cumple con los requerimientos expuestos a continuación.

-Por último, se ha filtrado esta serie de parámetros:

Propiedades físicas: Densidad máxima de 9000 kg/m³

Esto es porque un exceso de peso en la boquilla empeoraría la comodidad a la hora de interpretar.

Propiedades magnéticas: No magnético

Esto se requiere principalmente por higiene, puesto que, si fuese un material magnético, cabría la posibilidad que a lo largo de su vida útil la boquilla almacenara partículas magnéticas en su superficie.

Propiedades ópticas: Material opaco

Esto principalmente es por estética, ya que al tocar un instrumento se desprende una gran cantidad de vapor de agua y de saliva y ésta se vería a través de la boquilla si fuese transparente.

Durabilidad: Excelente frente a agua salada y dulce

Como se ha dicho anteriormente la boquilla está en contacto con fluidos, así que el material debe de ser anticorrosivo.

Precio: Se estable un máximo de 10 €/kg

Se ha filtrado por este precio porque es el precio por el que orbita el latón normalmente, y dado que las boquillas están hechas de este material, interesa como mínimo no superar este precio.

Como resultado de esta búsqueda se ha obtenido el siguiente listado de materiales:

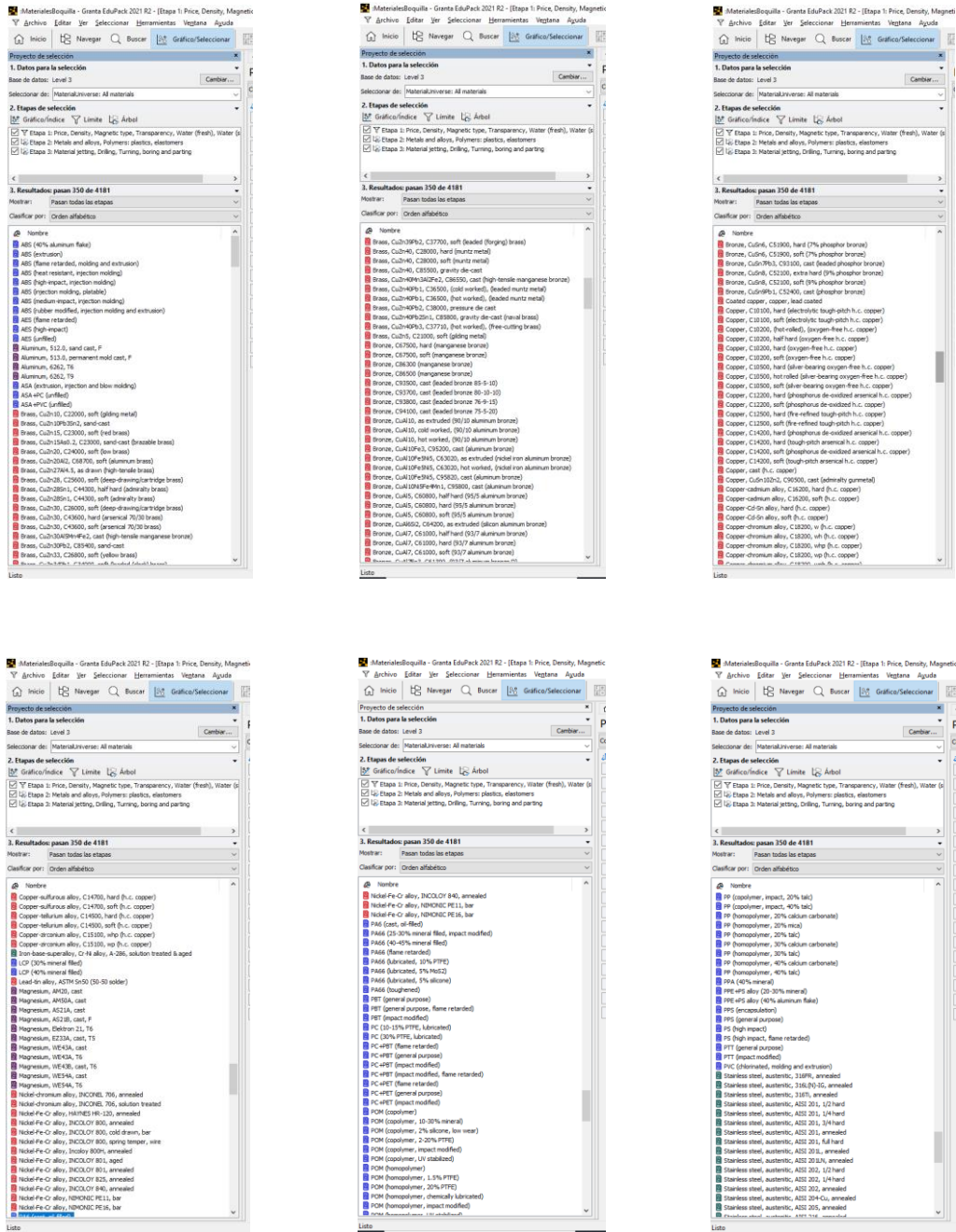


Figura 15 Listado de materiales tras el filtrado en el Granta EduPack

A modo de resumen se pueden diferenciar esta serie de materiales:

ABS	Aluminio	Latón	Bronce	Cobre	LCP
Magnesio	Níquel	PA6/Nylon	PA66	PBT	PC
POM	PP	PPA	PPE	PPS	Acero inoxidable

Tabla 3 Materiales compatibles con los requisitos del producto

Estos serían los materiales que según los requerimientos se adaptan mejor al proyecto.

Pero, por otra parte, como se ha comentado al inicio del capítulo, esta elección de materiales ha estado supeditada a la complicada y escasa facilidad de adquisición de dichos materiales.

Así que finalmente, los materiales utilizados en el proceso de fabricación son los siguientes:

PLA: Este es utilizado en la fabricación de los prototipos, ya que es el material que se utiliza en las impresoras 3D. Finalmente, tras comprobar su alto rendimiento como boquilla, se añade a la lista de boquillas para comparar.

Las principales características de este material se pueden apreciar en la siguiente tabla 4:

Nombre completo	<i>Ácido Poliláctico</i>
Densidad	<i>1240 kg/m³</i>
Precio	<i>2,57-3,13 €/kg</i>
Modulo de Young	<i>3,3-3,6 Gpa</i>
Coefficiente de Poisson	<i>0,38-0,40</i>
Límite elástico	<i>55-72 Mpa</i>
Resistencia a tracción	<i>47-70 Mpa</i>
Resistencia a compresión	<i>66-86 Mpa</i>
Elongación	<i>3-6 %</i>
Dureza Vickers	<i>17-27 HV</i>
Resistencia a fatiga (10⁷ ciclos)	<i>22,2-27,7 Mpa</i>
Punto de fusión	<i>145-177 °C</i>
Temperatura de vitrificación	<i>52-60 °C</i>
Conductividad térmica	<i>0,13-0,16 W/m·°C</i>
Calor específico	<i>1180-1210 J/kg·°C</i>

Tabla 4 Propiedades físicas del PLA [12]

Nailon: Este material tiene una gran ventaja frente a todos los demás y es que hay personas que tienen alergia al metal y cada vez está más de moda el uso de boquillas de este material, a parte el nailon cuenta con una absorción de energía menor que el metal, esto es una comodidad añadida al poco peso que ofrece este material. El principal motivo es que este material si está disponible en el taller mecánico del Campus de Alcoy.

Las principales características de este material se pueden apreciar en la siguiente tabla 5:

Nombre completo	PA-6
Densidad	1120-1150 kg/m ³
Precio	1,91-2,38 €/kg
Modulo de Young	1,29-1,61 Gpa
Coefficiente de Poisson	0,34-0,36
Límite elástico	40,1-50 Mpa
Resistencia a tracción	50,6-61,9 Mpa
Resistencia a compresión	64,1-70,9 Mpa
Elongación	41-59 %
Dureza Vickers	13-14 HV
Dureza Rockwell M	107-118
Punto de fusión	227-238 °C
Temperatura de vitrificación	44-56 °C
Conductividaad térmica	0,261-0,271 W/m·°C
Calor específico	1590-1650 J/kg·°C

Tabla 5 Propiedades físicas de PA6

Aluminio: De este material también se tiene stock en el campus de Alcoy, esto junto con que el aluminio cuenta con una baja densidad ha sido de los factores principales para la elección de este material. El tipo de aluminio según UNE es el AW-2030.

Las principales características de este material se pueden apreciar en la siguiente tabla 6:

Nombre completo	L-3121
Densidad	2850 kg/m ³
Precio	2,96 €/kg
Modulo de Young	71-72,5 Gpa
Coefficiente de Poisson	0,33
Límite elástico	250 Mpa
Resistencia a tracción	370 Mpa
Elongación	12%
Dureza Brinell	115 HB
Punto de fusión	510-640 °C
Conductividaad térmica	140 W/m·°C
Calor específico	908,5 J/kg·°C

Tabla 6 Propiedades físicas del aluminio

Latón: Como se ha comentado en ocasiones anteriores, el material con el que se fabrican las boquillas es el Latón, así que este material no podía faltar en el proyecto. Éste se consiguió de un luthier, el cual usa este material para fabricar resonadores para saxofones, así que el tipo de latón quizá no es el más indicado para el producto en cuestión, pero ha sido imposible contactar con cualquier otra empresa. El latón según la tienda donde adquiere este material es el CuZn39Pb3.

Las principales características de este material se pueden apreciar en la siguiente tabla 7:

Nombre completo	<i>C-6440</i>
Densidad	<i>8400 kg/m³</i>
Precio	<i>10,4 €/kg</i>
Modulo de Young	<i>93 Gpa</i>
Coefficiente de Poisson	<i>0,35</i>
Límite elástico	<i>138 Mpa</i>
Resistencia a tracción	<i>413 Mpa</i>
Resistencia a compresión	<i>Mpa</i>
Elongación	<i>30%</i>
Dureza Rockwell B	<i>65</i>
Punto de fusión	<i>890 °C</i>
Conductividad térmica	<i>121 W/m·K</i>
Calor específico	<i>380 J/kg·K</i>

Tabla 7 Propiedades físicas del latón [13]

De todos los parámetros citados en las tablas anteriores, lo que más interesan son la densidad, el precio, la dureza y la conductividad térmica.

Los beneficios que aporta la baja conductividad se relacionan inversamente con la comodidad que sienta el intérprete a la hora de ponerse a tocar en los meses de invierno, en este caso a penas se notará la temperatura de la boquilla.

La dureza es significativa principalmente porque las boquillas suelen caer al suelo varias veces al año, así que, ante una caída, como es lógico, es preferible una abolladura a una fractura.

La densidad como se ha discutido anteriormente más que nada es por la comodidad del intérprete.

5. Proceso de fabricación

El proceso productivo se va a dividir de acuerdo con las cinco fases de producción que se han realizado para conseguir el resultado final.

Para las operaciones que se han realizado en este proceso de fabricación (taladrado, tronzado, matado de cantos y pulido) se ha tenido en cuenta la siguiente tabla 8 en función del material en el que se está trabajando en cada boquilla, para posteriormente buscar en la tabla 9 que velocidad se le debe asignar al torno.^[14]

VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA						
MATERIAL A MECANIZAR	TORNEADO		FRESADO		TALADRADO	
	HSS	CERMET	HSS	CERMET		
Aluminio Magnesio	D 140	350	114	300	125	
Latón dúctil	A 170	400	160	350		
Aleaciones de Aluminio	D 90	300	70	250	80	
Latón duro	A 120	350	98	300		
Materiales Plásticos	D 30	100	24	80	26	
	A 50	150	30	100		

Tabla 8 Velocidades de corte recomendadas en función del material

SELECCIÓN DE VELOCIDAD DE GIRO (rpm)																		
DIÁMETRO (mm)	VELOCIDAD DE CORTE (m/min)																	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	100	125	150	200	250	300
5	318	637	955	1273	1592	1910	2228	2546	2865	3183	3820	4775	6366	7958	9549	12732	15915	19098
10	159	318	477	637	796	955	1114	1273	1432	1592	1910	2387	3183	3979	4775	6366	7958	9549
15	106	212	318	424	531	637	743	849	955	1061	1273	1592	2122	2653	3183	4244	5305	6366
20	80	159	239	318	398	477	557	637	716	796	955	1194	1592	1989	2387	3183	3979	4775
25	64	127	191	255	318	382	446	509	573	637	764	955	1273	1592	1910	2546	3183	3820
30	53	106	159	212	265	318	371	424	477	531	637	796	1061	1326	1592	2122	2653	3183
35	45	91	136	182	227	273	318	364	409	455	546	682	909	1137	1364	1819	2274	2728
40	40	80	119	159	199	239	279	318	358	398	477	597	796	995	1194	1592	1989	2387
45	35	71	106	141	177	212	248	283	318	354	424	531	707	884	1061	1415	1768	2122
50	32	64	95	127	159	191	223	255	286	318	382	477	637	796	955	1273	1592	1910
55	29	58	87	116	145	174	203	231	260	289	347	434	579	723	868	1157	1447	1736
60	27	53	80	106	133	159	186	212	239	265	318	398	531	663	796	1061	1326	1592
65	24	49	73	98	122	147	171	196	220	245	294	367	490	612	735	979	1224	1469
70	23	45	68	91	114	136	159	182	205	227	273	341	455	568	682	909	1137	1364
75	21	42	64	85	106	127	149	170	191	212	255	318	424	531	637	849	1061	1273
80	20	40	60	80	99	119	139	159	179	199	239	298	398	497	597	796	995	1194
85	19	37	56	75	94	112	131	150	169	187	225	281	374	468	562	749	936	1123
90	18	35	53	71	88	106	124	141	159	177	212	265	354	442	531	707	884	1061
95	17	34	50	67	84	101	117	134	151	168	201	251	335	419	503	670	838	1005
100	16	32	48	64	80	95	111	127	143	159	191	239	318	398	477	637	796	955
105	15	30	45	61	76	91	106	121	136	152	182	227	303	379	455	606	758	909
110	14	29	43	58	72	87	101	116	130	145	174	217	289	362	434	579	723	868
115	14	28	42	55	69	83	97	111	125	138	166	208	277	346	415	554	692	830
120	13	27	40	53	66	80	93	106	119	133	159	199	265	332	398	531	663	796
125	13	25	38	51	64	76	89	102	115	127	153	191	255	318	382	509	637	764
130	12	24	37	49	61	73	86	98	110	122	147	184	245	306	367	490	612	735
135	12	24	35	47	59	71	83	94	106	118	141	177	236	295	354	472	589	707
140	11	23	34	45	57	68	80	91	102	114	136	171	227	284	341	455	568	682
145	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	132	165	220	274	329	439	549	659
150	11	21	32	42	53	64	74	85	95	106	127	159	212	265	318	424	531	637

Tabla 9 Correlación de velocidades de corte con diámetros para la selección de la velocidad de giro

Las máquinas utilizadas en este proyecto han sido: tres tornos diferentes, siendo cada uno de ellos empleado para conseguir diferentes geometrías y una sierra de cinta.^[15]

- El primer torno ha sido empleado para el mecanizado del contorno de la boquilla, ya que este torno es capaz de tornear mediante control numérico, y esta geometría si se podía mecanizar con las herramientas disponibles en el torno a diferencia de las demás.
- El segundo torno es el que se ha utilizado en la gran parte de las operaciones, se trata de un torno manual con pantalla de visualización de cotas.
- El último solamente se ha utilizado para el mecanizado cónico del exterior del tudel, debido a que cuenta con una torreta móvil angularmente.
- La sierra de cinta se ha empleado para el corte del tocho de metal.



Figura 16 Torno CNC Pinacho ST 225 x 1000 Fuente: Pinacho



Figura 17 Torno manual Pinacho S-90/200



Figura 18 Torno manual Pinacho SP/165

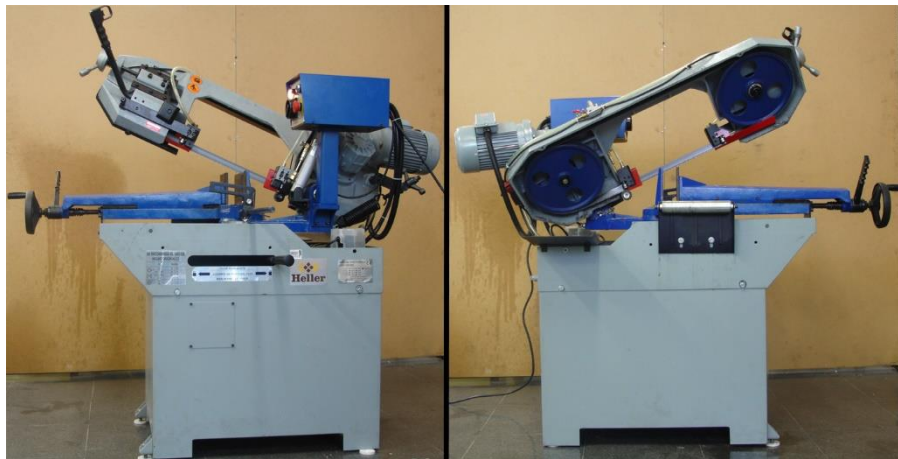


Figura 19 Sierra de cinta Heller

El proceso de mecanizado de las boquillas como tal tiene como primera operación, un corte. Esto es debido a que el material se almacena en barras de un metro y se debe cortar a la medida que se necesita para el posterior procesado del tocho, en este caso se ha decidido por 125 mm, 40 mm más de los que son la boquilla.

En la siguiente imagen se muestra el proceso de corte, que se ha repetido para todas las boquillas.



Figura 20 Corte del tocho de aluminio

5.1. Exterior de la boquilla

En esta primera fase se mecaniza la parte superficial de la boquilla, simplemente para conseguir una forma aproximada al diseño CAD de la boquilla del caso de estudio.

Cabe destacar que no se pretende conseguir ningún redondeo, ni conicidad, ni ninguna forma hueca.

Se parte de un tocho de 125 mm, que como se muestra en la figura 22, son los necesarios para tener suficiente material en la zona de amarre, para aportar rigidez a la operación.



Figura 21 Amarre del tocho

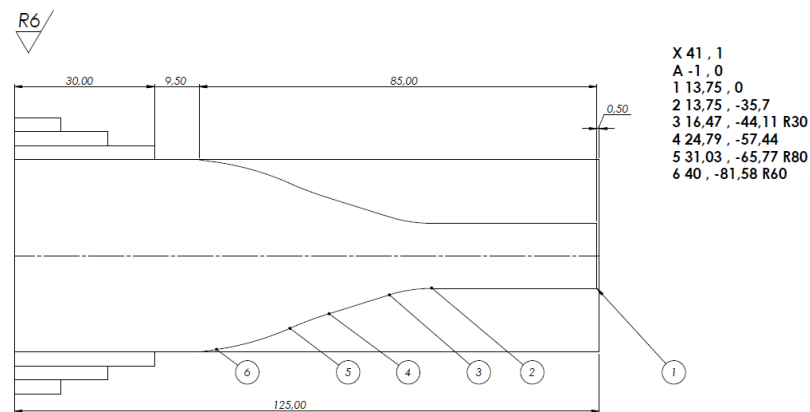


Figura 22 Esquema utilizado de referencia para la programación CNC

En esta operación de mecanizado, se aproxima, a lo que finalmente será el contorno de la boquilla, para conseguir este esquema se ha medido el plano en diferentes puntos donde cambia la dirección de la línea, por el cambio de radio, en la zona de la copa.

Como resultado de esta operación según el plano se obtiene la figura 23, pero para el futuro mecanizado de las demás partes de la boquilla, es conveniente mantener esos 39,5 mm de más para poder amarrar correctamente la boquilla.

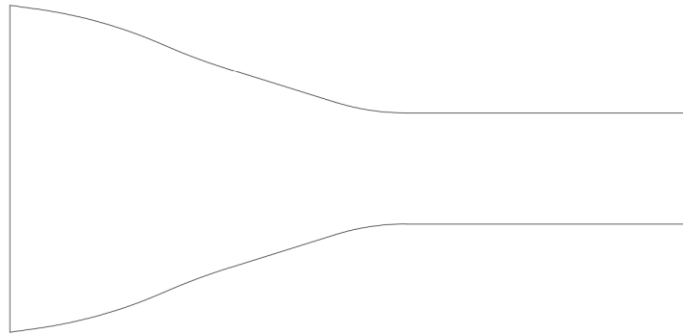


Figura 23 Contorno, resultado del primer mecanizado

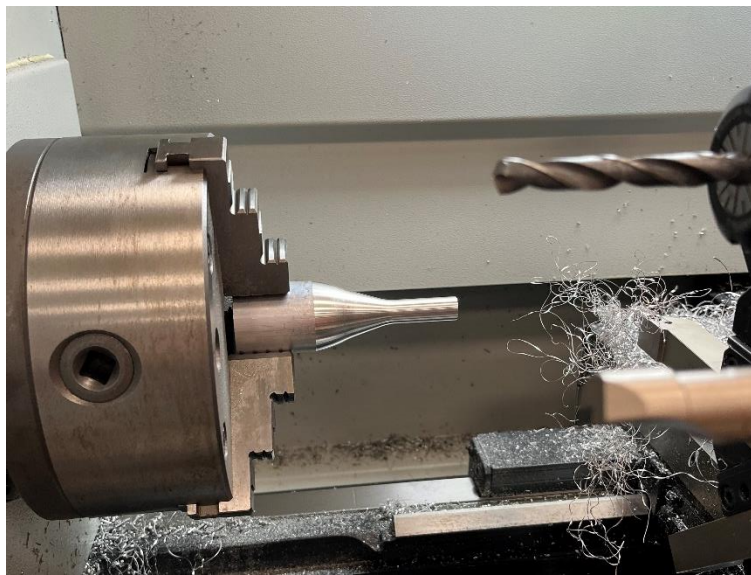


Figura 24 Resultado del mecanizado en CNC

Como se ha mencionado anteriormente, esta operación ha sido realizada en el torno CNC, con tiempo de 10 min por boquilla.

El código CNC ha sido realizado en el programa WinUnisoft, elaborando esta simple secuencia de mecanizados, que se muestra en la siguiente figura 25.

```

N010 (ORGX54=0, ORGZ54=94.5)
N020 G54
N030 G95 G96 F0.1 S200 T1 D1 M4
N040 G00 X41 Z50
N050 G00 X41 Z1
N060 G68 X-1 Z0 C0.5 L0.2 M0.2 H0.05 S090 E140
N070 G00 X41 Z100
N080 M30
N090 G01 X13.75 Z0
N100 G01 X13.75 Z-35.7
N110 G02 X16.47 Z-44.11 R30
N120 G01 X24.79 Z-57.44
N130 G02 X31.03 Z-65.77 R80
N140 G03 X40 Z-81.58 R60

```

Figura 25 Código CNC

En la anterior figura 25 se encuentran una serie de palabras, que son simplemente un conjunto de letras y números que se utiliza en el lenguaje C.N.C.

Los tipos de palabras que se ha utilizado tienen el siguiente significado:^[16]

- ❖ X, Y, Z Hace referencia a dónde se requiere ubicar la herramienta
- ❖ G Hace referencia a funciones preparatorias, el cómo se va a mecanizar.
- ❖ T Hace referencia a que herramienta se requiere en cada operación.
- ❖ F, S Hace referencia a la velocidad de avance y de corte respectivamente.
- ❖ M Hace referencia a funciones auxiliares, sentido de giro, paradas...

Condiciones de corte:

Tal y como se observa en la figura 25, se ha programado una velocidad de corte de $S=200$ m/min, con un avance de $F=0,1$ mm/rev.

5.2. Interior del tudel

El objetivo de esta fase es conseguir la conicidad interna del tudel, este diseño se ha conseguido mecanizar empleando el siguiente esquema de taladrados.

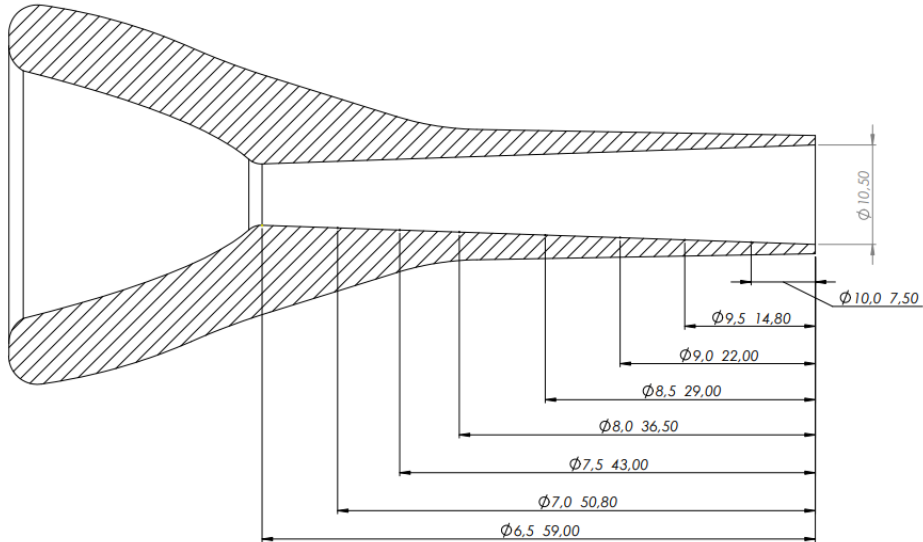


Figura 26 Sección longitudinal de la boquilla señalando las operaciones de taladrado realizadas

Como se aprecia en la figura 26, se ha realizado una serie de taladrados de diferentes diámetros y hasta diferentes profundidades. El resultado de esta operación es una superficie escalonada, de apenas 0,5 mm de escalón, pero sigue siendo una superficie no continua, así que tras este proceso se lija el interior del tudel durante un periodo largo de tiempo, para asegurar una superficie perfectamente pulida y así unificar todos los escalones consiguiendo una superficie con el grado de inclinación establecido.

Condiciones de mecanizado:

Para la realización de esta geometría, como se ha indicado anteriormente se ha tenido que utilizar varios diámetros de broca. A continuación, se muestran tres tablas, en ellas se concretan las velocidades de giro del torno.

SEGÚN LAS TABLAS DEL TALLER MECÁNICO			
MECANIZADO INTERIOR TUDEL			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	26	80	125

DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
6,5	1592	4775	7958
7	1592	4775	7958
7,5	1592	4775	7958
8	1592	4775	7958
8,5	1592	4775	7958
9	1592	4775	7958
9,5	1592	4775	7958
10	796	2387	3979
10,5	796	2387	3979

Tabla 10 Velocidades de giro según tablas para el interior del tudel

Esta tabla 10 muestra las velocidades recomendadas para el torno, utilizando las tablas que facilita el taller mecánico.

SEGÚN FÓRMULAS			
MECANIZADO INTERIOR TUDEL			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	26	80	125

DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
6,5	1273	3918	6121
7	1182	3638	5684
7,5	1103	3395	5305
8	1034	3183	4973
8,5	974	2996	4681
9	920	2829	4421
9,5	871	2680	4188
10	828	2546	3979
10,5	788	2425	3789

Tabla 11 Velocidades de giro según fórmula para el interior del tudel

En esta otra tabla 11 se puede notar una pequeña corrección respecto a la anterior, y es que, en esta, cada una de las velocidades se calcula mediante la fórmula, de forma independiente.

SEGÚN EXPERIENCIA Y TORNO			
MECANIZADO INTERIOR TUDEL			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	15	20	25

DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
6,5	950	950	950
7	950	950	950
7,5	950	950	950
8	950	950	950
8,5	950	950	950
9	950	950	950
9,5	950	950	950
10	625	625	625
10,5	625	625	625

Tabla 12 Velocidades de giro según experiencia y tablas para el interior del tudel

Por último, en esta tabla 12 se facilitan las velocidades que realmente se han utilizado durante el proceso de fabricación.

El motivo de esta disminución de velocidades es por las siguientes razones:

Por una parte, la velocidad de corte recomendada se ha reducido para aumentar el coeficiente de seguridad y tener un mayor control sobre el torno.

Y, por otra parte, tomando de referencia las velocidades de la tabla 12 con las velocidades de corte reducidas, se obtiene una velocidad ya de por sí menor, pues debido a que el torno tiene unas velocidades limitadas y acotadas en los siguientes rangos, Figura 27, se configura la velocidad inmediatamente menor.



Figura 27 Posiciones de las velocidades en el torno manual

Para terminar con esta explicación de la segunda fase del proceso de fabricación, se exponen una serie de fotografías que reflejan de forma gráfica el proceso, y tal como se ha estado explicando anteriormente.



Figura 28 a) Brocas utilizadas



Figura 28 b) Proceso de taladrado progresivo



Figura 28 c) Resultado del proceso de taladrado progresivo en el aluminio



Figura 28 d) Resultado del proceso de taladrado progresivo en el latón



Figura 28 e) Proceso de limado del interior del tudel



Figura 28 f) Proceso de lijado para un acabado adecuado

Figura 28 Proceso productivo del interior del tudel

5.3. Copa

El objetivo de esta fase del proceso de fabricación es una de las más importantes y complejas de esta pieza.

Ya que la fabricación se ha realizado en el taller mecánico de la universidad y las herramientas son limitadas, no se ha podido fabricar mediante el proceso usado en la industria.

En la siguiente imagen se detalla el conjunto de operaciones de taladrado y a que profundidades se ha realizado cada una.

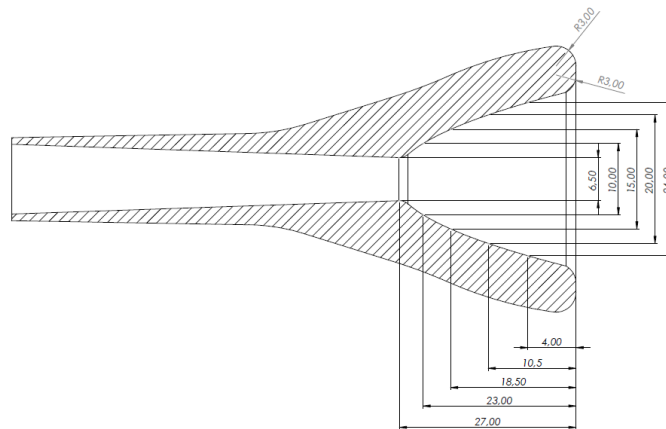


Figura 29 Secuencia de taladrado progresivo para la copa

En el caso de estudio, la copa se ha fabricado siguiendo estos pasos:

En primer lugar, se imprimió el negativo de la copa interna, para tener un molde del interior de ésta.

En segundo lugar, se han sacado medidas del plano de la boquilla, para realizar una serie de taladros de menor a mayor diámetro de broca.

En tercer lugar, se ha moldeado manualmente una broca hasta que ésta adoptara la forma de la copa de boquilla, esto se ha realizado comparando la cavidad que dejaba la broca tras ser moldeada con el negativo que se había impreso, hasta que se consiguió la misma curva. Cabe destacar que esta operación no es la más acertada para esta operación, ya que lo ideal en este caso es hacer uso del control numérico, pero en al no contar con herramientas capaces de elaborar esta geometría, se investiga acerca de cómo se hace en las grandes industrias, averiguando que disponen de una broca con la geometría exacta, así que al ser una boquilla de diseño propio, se ha optado por esta opción, confeccionar una broca con una geometría única, capaz de conseguir la forma diseñada en apenas unos segundos. En la figura 33 se muestra el resultado de la broca modificada.

Por último, ya con los taladros hechos, esta última broca solamente ha realizado el ajuste a la curva que tenía la copa de la boquilla.

La realización de la broca con la geometría de la copa de la boquilla se ha fabricado siguiendo el siguiente proceso:

Como se ha mencionado anteriormente, el primer paso de este proceso ha sido imprimir en 3D el negativo del interior de la copa de la boquilla, obteniendo el siguiente objeto que se observa en la Figura 30.

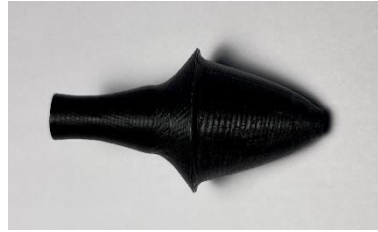


Figura 30 Molde de la geometría interna de la copa

En el taller, teniendo como base una broca del 27 se ha ido desbastando con la ayuda de la esmeriladora, de acuerdo con la geometría que se ha mencionado anteriormente, para hacer este proceso más fácil se ha utilizado un bloque de aluminio seccionado para comprobar tras cada mecanizado que geometría proporcionaba la broca.



Figura 31 Bloque de aluminio con la geometría de la copa

Tras múltiples mecanizados y comprobaciones se puede apreciar en la siguiente imagen como el agujero y el modelo son idénticos.



Figura 32 Comprobación de la geometría proporcionada por la broca modificada



Figura 33 Broca modificada (abajo) comparada con una broca de M10

Condiciones de corte:

Para la realización de esta geometría más compleja que la anterior, como se ha indicado anteriormente se ha tenido que utilizar varios diámetros de broca incluso una broca especial que se ha elaborado manualmente. A continuación, se muestran tres tablas, en ellas se concretan las velocidades de giro del torno.

SEGÚN LAS TABLAS DEL TALLER MECÁNICO			
MECANIZADO INTERIOR COPA			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	26	80	125
DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
6,5	1592	4775	7958
10	796	2387	3979
15	531	1592	2653
20	398	1194	1989
24	398	1194	1989
26	318	955	1592

Tabla 13 Velocidades de giro según tablas para el interior de la copa

Esta tabla 13 muestra las velocidades recomendadas para el torno, utilizando las tablas que se facilitan en el taller mecánico.

SEGÚN FÓRMULAS			
MECANIZADO INTERIOR COPA			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	26	80	125

DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
6,5	1273	3918	6121
10	828	2546	3979
15	552	1698	2653
20	414	1273	1989
24	345	1061	1658
26	318	979	1530

Tabla 14 Velocidades de giro según fórmula para el interior de la copa

En esta otra tabla 14 se puede apreciar una mayor precisión entre los diferentes diámetros que en la anterior, y es que, en esta, cada una de las velocidades se calcula mediante la fórmula, de forma independiente.

SEGÚN EXPERIENCIA Y TORNO			
MECANIZADO INTERIOR COPA			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	15	20	25

DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
6,5	950	950	950
10	625	625	950
15	425	425	625
20	340	340	425
24	340	340	425
26	185	185	185

Tabla 15 Velocidades de giro según experiencia y tablas para el interior de la copa

Por último, en esta tabla 15 se facilitan las velocidades que realmente se han utilizado durante el proceso de fabricación.

El motivo de esta disminución de velocidades es por las siguientes razones:

Por una parte, la velocidad de corte recomendada se ha reducido para aumentar el coeficiente de seguridad ya que la broca confeccionada a mano no es del todo segura y conviene tener especial cuidado en su utilización.

Por otra parte, tomando de referencia las velocidades de la tabla 15 con las velocidades de corte reducidas, se obtiene una velocidad ya de por si menor, pues debido a que el torno tiene unas velocidades limitadas y acotadas en los siguientes rangos, Figura 27, se configura la velocidad inmediatamente menor.

Y, por último, debido a que el amarre en esta operación está justo en el tudel de la boquilla, la parte más fina de ésta se ha optado por reducir la velocidad y extremar la precaución, minimizando el esfuerzo que soporta la pieza en cada operación.

Para terminar con esta fase de la fabricación, se dispone a continuación una serie de fotografías, que plasman a la perfección el proceso anteriormente descrito.



Figura 34 a) Punteado para el posterior taladrado



Figura 34 b) Taladrado con broca del 15



Figura 34 c) Taladrado con broca del 24



Figura 34 d) Resultado del proceso de mecanizado progresivo



Figura 34 e) Desbastado de la broca para conseguir la geometría deseada



Figura 34 f) Último taladrado con geometría diseñada

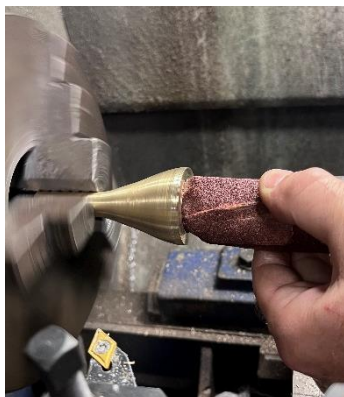


Figura 34 g) Lijado del interior de la copa



Figura 34 h) Resultado de esta parte del proceso

Figura 34 Proceso de producción del interior de la copa

5.4. Aro

El objetivo de este punto es conseguir el borde de la boquilla que se ha diseñado, para ello se utiliza la siguiente herramienta para darle una inclinación al canto de la boquilla, tras ello simplemente se debe limar hasta conseguir el radio que se ha diseñado, esto se sabe comparando con una galga de radios.



Figura 35 Mecnizado del chaflán del aro



Figura 36 Lijado del borde del aro

5.5. Exterior del tudel

Por último, pero a la vez esencial para la utilización de la boquilla en un trombón.

Ya que la forma en la que se coloca una boquilla en un trombón por simple sujeción debido a que el tudel de la boquilla tiene forma de cuña.

Para esta parte del proceso se ha utilizado el otro torno del taller mecánico, ya que este dispone de un sistema de inclinación más práctico que el otro torno.

Así que según el diseño que se ha realizado el ángulo de esta cuña es de 1º, así que se ajusta la torreta del torno a este parámetro.



Figura 37 Ajuste del grado de inclinación de la herramienta

Tras disponer el portaherramientas en esta inclinación solamente queda mecanizar el tudel hasta conseguir el diámetro requerido.

Condiciones de corte:

Esta última operación solamente cuenta con el mecanizado del tudel para conseguir esa conicidad comentada con anterioridad, así que solamente se configura una velocidad de giro.

SEGÚN LAS TABLAS DEL TALLER MECÁNICO			
MECANIZADO EXTERIOR TUDEL			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	30	90	140
DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
12,5	955	2387	3979

Tabla 16 Velocidades de giro según tablas para el exterior del tudel

En esta primera tabla 16 se muestra la velocidad recomendada según la tabla ubicada en el taller mecánico. Esta es poco precisa, aunque eficaz si se desea conocer de inmediata que velocidad configurar al torno.

SEGÚN FÓRMULAS			
MECANIZADO EXTERIOR TUDEL			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	30	90	140
DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
12,5	764	2292	3565

Tabla 17 Velocidades de giro según tablas para el exterior del tudel

Por otra parte, esta tabla 17 contiene una velocidad más ajustada al diámetro y velocidades de corte, ya que se calcula en base a la fórmula.

Pero sigue siendo poco conservadora con la pieza, así que en la siguiente tabla se muestra una velocidad con un mayor coeficiente de seguridad, ya que, al ser el último paso de este proceso de fabricación, no se puede amarrar con la misma fuerza que en los primeros pasos, para no marcar la pieza en exceso.

SEGÚN EXPERIENCIA Y TORNO			
MECANIZADO EXTERIOR TUDEL			
MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA	30	75	125
DIÁMETRO/MATERIAL	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
12,5	950	950	950

Tabla 18 Velocidades de giro según experiencia y tablas para el exterior del tudel

Así pues, exceptuando el caso del nailon, las demás velocidades si son inferiores a las que se definen anteriormente.

Las velocidades con las que cuenta este torno son diferentes, y son las siguientes:

	1	2	3
A	60	220	860
B	92	360	1400
C	140	530	2000

Tabla 19 Valores de velocidad en rpm del tercer torno manual



Figura 38 Selector de velocidades del torno manual

Finalmente se presentan estas dos imágenes a modo de apoyo gráfico a la explicación de este proceso productivo.



Figura 39 Proceso de mecanizado cónico del exterior del tudel

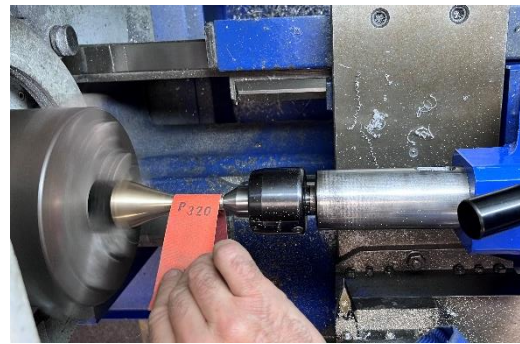


Figura 40 Proceso de lijado del tudel

Tras realizar todas las operaciones de mecanizado anteriores, se obtiene el siguiente resultado, que será probado en el laboratorio de acústica del campus de Gandía de la Universitat Politècnica de València.



Figura 41 Resultado final del proceso de producción

6. Estudio económico

Antes de empezar con el estudio de viabilidad económica, se resalta que este proyecto no es factible de primeras, debido a que la inversión en maquinaria es elevada y para un proyecto de estas condiciones no se hubiese invertido, así pues, al disponer de las instalaciones de la UPV si ha sido posible.

Tras recalcar esto, lo que se pretende con este estudio es calcular aproximadamente a partir de qué número de lote sería coherente realizar la fabricación de estas boquillas. Siempre teniendo en cuenta que los precios ^[17] se han sacado en base a las máquinas y materiales empleados ^[18] y requeridos para llevar a cabo el proceso de fabricación diseñado para este TFG.

Sin más preámbulos se procede a mostrar una serie de presupuestos en base a distintos lotes de fabricación, todos ellos se contemplan en lotes de fabricación por cada material, teniendo en cuenta que, para seguir con la lógica de este proyecto, se fabrican las 4 boquillas, es decir, un lote de fabricación de 8 en realidad, finalmente se tienen 32 boquillas sobre la mesa.

Tras dejar todos los detalles claros, a continuación, adjuntan los cálculos y posteriormente se discutirán los resultados.

6.1. Presupuestos en función del lote

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	Bobina de PLA para impresión 3D	25,99 €/ud.	1	25,99 €
	Nailon	Barra de Ø 40 mm x 1 m	20,8 €/ud.	1	20,80 €
	Aluminio	Barra de Ø 40 mm x 0,5 m	49,9 €/ud.	2	99,80 €
	Latón	Barra de Ø 40 mm x 0,5 m	179,39 €/ud.	2	358,78 €
Mano de obra	Diseño	Ingeniero de producto	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	Oficial de mecanizado	30 €/h	48	1.440,00 €
Análisis acústico	Profesional	Contratación de un músico profesional para el estudio acústico	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	Alquiler de la sala de estudio	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	Incluye materiales y mano de obra	5€/ud.	32	160,00 €
	Distribución	Envío	2€/ud.	32	16,00 €
Maquinaria	Torno	Piancho ML 200 x 750	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	Artillery Genius Pro	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					28.564,74 €
Presupuesto para fabricar: 32 boquillas					
				8	boquillas de cada material
Precio unitario de:			892,65 €		

Figura 42 Presupuesto para lote de 32 boquillas

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	Bobina de PLA para impresión 3D	25,99 €/ud.	2	51,98 €
	Nailon	Barra de Ø 40 mm x 1 m	20,8 €/ud.	2	41,60 €
	Aluminio	Barra de Ø 40 mm x 0,5 m	49,9 €/ud.	4	199,60 €
	Latón	Barra de Ø 40 mm x 0,5 m	179,39 €/ud.	4	717,56 €
Mano de obra	Diseño	Ingeniero de producto	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	Oficial de mecanizado	30 €/h	96	2.880,00 €
Análisis acústico	Profesional	Contratación de un músico profesional para el estudio acústico	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	Alquiler de la sala de estudio	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	Incluye materiales y mano de obra	5€/ud.	64	320,00 €
	Distribución	Envío	2€/ud.	64	128,00 €
Maquinaria	Torno	Piancho ML 200 x 750	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	Artillery Genius Pro	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					31.173,70 €
Presupuesto para fabricar: 64 boquillas					
				16	boquillas de cada material
Precio unitario de:			487,09 €		

Figura 43 Presupuesto para lote de 64 boquillas

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	<i>Bobina de PLA para impresión 3D</i>	25,99 €/ud.	5	129,95 €
	Nailon	<i>Barra de Ø 40 mm x 1 m</i>	20,8 €/ud.	5	104,00 €
	Aluminio	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	49,9 €/ud.	10	499,00 €
	Latón	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	179,39 €/ud.	10	1.793,90 €
Mano de obra	Diseño	<i>Ingeniero de producto</i>	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	<i>Oficial de mecanizado</i>	30 €/h	240	7.200,00 €
Análisis acústico	Profesional	<i>Contratación de un músico profesional para el estudio acústico</i>	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	<i>Alquiler de la sala de estudio</i>	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	<i>Incluye materiales y mano de obra</i>	5€/ud.	160	800,00 €
	Distribución	<i>Envío</i>	2€/ud.	160	320,00 €
Maquinaria	Torno	<i>Piancho ML 200 x 750</i>	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	<i>Artillery Genius Pro</i>	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					38.831,14 €
Presupuesto para fabricar: 160 boquillas					
			40	boquillas de cada material	
Precio unitario de:			242,69 €		

Figura 44 Presupuesto para lote de 160 boquillas

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	<i>Bobina de PLA para impresión 3D</i>	25,99 €/ud.	10	259,90 €
	Nailon	<i>Barra de Ø 40 mm x 1 m</i>	20,8 €/ud.	10	208,00 €
	Aluminio	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	49,9 €/ud.	20	998,00 €
	Latón	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	179,39 €/ud.	20	3.587,80 €
Mano de obra	Diseño	<i>Ingeniero de producto</i>	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	<i>Oficial de mecanizado</i>	30 €/h	480	14.400,00 €
Análisis acústico	Profesional	<i>Contratación de un músico profesional para el estudio acústico</i>	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	<i>Alquiler de la sala de estudio</i>	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	<i>Incluye materiales y mano de obra</i>	5€/ud.	320	1.600,00 €
	Distribución	<i>Envío</i>	2€/ud.	320	640,00 €
Maquinaria	Torno	<i>Piancho ML 200 x 750</i>	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	<i>Artillery Genius Pro</i>	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					51.593,55 €
Presupuesto para fabricar: 320 boquillas					
			80	boquillas de cada material	
Precio unitario de:			161,23 €		

Figura 45 Presupuesto para lote de 320 boquillas

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	<i>Bobina de PLA para impresión 3D</i>	25,99 €/ud.	20	519,80 €
	Nailon	<i>Barra de Ø 40 mm x 1 m</i>	20,8 €/ud.	20	416,00 €
	Aluminio	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	49,9 €/ud.	40	1.996,00 €
	Latón	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	179,39 €/ud.	40	7.175,60 €
Mano de obra	Diseño	<i>Ingeniero de producto</i>	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	<i>Oficial de mecanizado</i>	30 €/h	960	28.800,00 €
Análisis acústico	Profesional	<i>Contratación de un músico profesional para el estudio acústico</i>	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	<i>Alquiler de la sala de estudio</i>	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	<i>Incluye materiales y mano de obra</i>	5€/ud.	640	3.200,00 €
	Distribución	<i>Envío</i>	2€/ud.	640	1.280,00 €
Maquinaria	Torno	<i>Piancho ML 200 x 750</i>	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	<i>Artillery Genius Pro</i>	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					77.118,35 €
Presupuesto para fabricar: 640 boquillas					
			160	boquillas de cada material	
Precio unitario de:			120,50 €		

Figura 46 Presupuesto para lote de 640 boquillas

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	<i>Bobina de PLA para impresión 3D</i>	25,99 €/ud.	60	1.559,40 €
	Nailon	<i>Barra de Ø 40 mm x 1 m</i>	20,8 €/ud.	60	1.248,00 €
	Aluminio	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	49,9 €/ud.	120	5.988,00 €
	Latón	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	179,39 €/ud.	120	21.526,80 €
Mano de obra	Diseño	<i>Ingeniero de producto</i>	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	<i>Oficial de mecanizado</i>	30 €/h	2880	86.400,00 €
Análisis acústico	Profesional	<i>Contratación de un músico profesional para el estudio acústico</i>	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	<i>Alquiler de la sala de estudio</i>	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	<i>Incluye materiales y mano de obra</i>	5€/ud.	1920	9.600,00 €
	Distribución	<i>Envío</i>	2€/ud.	1920	3.840,00 €
Maquinaria	Torno	<i>Piancho ML 200 x 750</i>	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	<i>Artillery Genius Pro</i>	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					179.217,58 €
Presupuesto para fabricar: 1920					
			480	boquillas de cada material	
Precio unitario de:			93,34 €		

Figura 47 Presupuesto para lote de 1920 boquillas

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	<i>Bobina de PLA para impresión 3D</i>	25,99 €/ud.	100	2.599,00 €
	Nailon	<i>Barra de Ø 40 mm x 1 m</i>	20,8 €/ud.	100	2.080,00 €
	Aluminio	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	49,9 €/ud.	200	9.980,00 €
	Latón	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	179,39 €/ud.	200	35.878,00 €
Mano de obra	Diseño	<i>Ingeniero de producto</i>	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	<i>Oficial de mecanizado</i>	30 €/h	4800	144.000,00 €
Análisis acústico	Profesional	<i>Contratación de un músico profesional para el estudio acústico</i>	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	<i>Alquiler de la sala de estudio</i>	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	<i>Incluye materiales y mano de obra</i>	5€/ud.	3200	16.000,00 €
	Distribución	<i>Envío</i>	2€/ud.	3200	1.600,00 €
Maquinaria	Torno	<i>Piancho ML 200 x 750</i>	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	<i>Artillery Genius Pro</i>	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					275.669,13 €
Presupuesto para fabricar: 3200 boquillas					
			800	boquillas de cada material	
Precio unitario de:			86,15 €		

Figura 48 Presupuesto para lote de 3200 boquillas

Presupuesto del proyecto					
		Observaciones	Precio/ud.	Uds.	Total
Materiales	PLA	<i>Bobina de PLA para impresión 3D</i>	25,99 €/ud.	1000	25.990,00 €
	Nailon	<i>Barra de Ø 40 mm x 1 m</i>	20,8 €/ud.	1000	20.800,00 €
	Aluminio	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	49,9 €/ud.	2000	99.800,00 €
	Latón	<i>Barra de Ø 40 mm x 0,5 m</i>	179,39 €/ud.	2000	358.780,00 €
Mano de obra	Diseño	<i>Ingeniero de producto</i>	35 €/h	8	280,00 €
	Fabricación	<i>Oficial de mecanizado</i>	30 €/h	48000	1.440.000,00 €
Análisis acústico	Profesional	<i>Contratación de un músico profesional para el estudio acústico</i>	40 €/h	5	200,00 €
	Cámara anecoica	<i>Alquiler de la sala de estudio</i>	200 €/h	6	1.200,00 €
Ventas	Empaquetado	<i>Incluye materiales y mano de obra</i>	5€/ud.	32000	160.000,00 €
	Distribución	<i>Envío</i>	2€/ud.	32000	64.000,00 €
Maquinaria	Torno	<i>Piancho ML 200 x 750</i>	20000 €/ud.	1	20.000,00 €
	Imresora 3D	<i>Artillery Genius Pro</i>	475,99 €/ud.	1	475,99 €
Beneficio industrial					6%
Costes indirectos					11%
					2.578.549,48 €
Presupuesto para fabricar: 32000 boquillas					
			8000	boquillas de cada material	
Precio unitario de:			80,58 €		

Figura 49 Presupuesto para lote de 32000 boquillas

6.2. Discusión de la viabilidad económica

Si disponemos los resultados obtenidos en las figuras anteriores en una gráfica, se puede observar cómo ha ido disminuyendo el valor del precio de venta de las boquillas, gracias al aumento de la demanda.

Precio Unitario/Lote		
8	↕	892,65 €
16	↕	487,09 €
40	↕	242,69 €
80	↕	161,23 €
160	↕	120,50 €
480	↕	93,34 €
800	↕	86,15 €
8000	↕	80,58 €

Tabla 20 Relación del lote de fabricación con el precio unitario

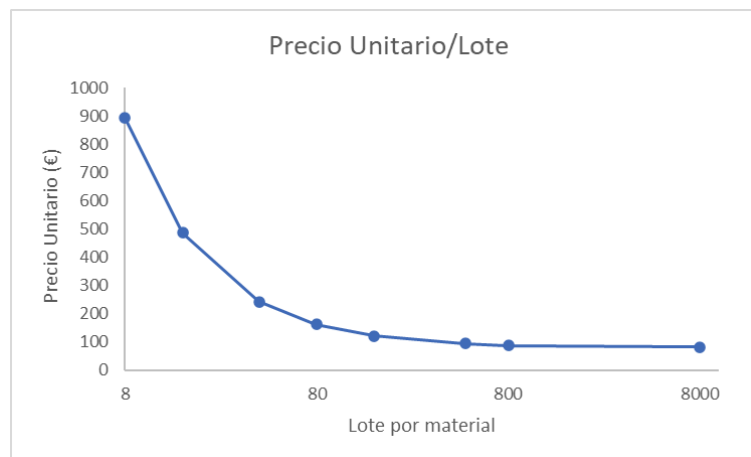


Figura 50 Gráfica de Precio unitario-Lote

Como es de suponer a más volumen de ventas menor es el precio mínimo al que se debe vender el producto.

La gran problemática de este proceso de fabricación es que requiere de una inversión inicial muy elevada, que solamente es asumible con una cierta confianza de demanda. Fijándose en la competencia, las boquillas de las empresas más punteras están rondando los 95€^[19], así que tampoco se ha ido demasiado el presupuesto. Con un volumen de entre 640-1920 ya se obtiene el precio de mercado.

En conclusión, este proceso de fabricación si es viable, aunque cabe mencionar que la maquinaria seleccionada en el presupuesto ha sido la utilizada en la universidad, siempre se podría invertir en maquinaria más simple para reducir los costes fijos asociados a las instalaciones, y a futuro ir mejorando los equipos.

Finalmente, como se ha visto que el lote de fabricación de 160 boquillas de cada material empieza a ser factible, el presupuesto final se realizará en base a un lote de fabricación de 200 boquillas por material, es decir, un volumen de 800 boquillas.

7. Resultados: Comparaciones en función del material

Para iniciar con el proceso de análisis acústico, en primer lugar, se deben esclarecer algunos puntos.

En primer lugar, la ubicación dónde se ha realizado el estudio es en la cámara anecoica del Campus de Gandía de la UPV.

En segundo lugar, para realizar la comparación se ha necesitado de la colaboración de un músico profesional, Carlos Carbó, para minimizar el error humano en las medidas y comparar únicamente el cambio de material.

En tercer lugar, el dispositivo utilizado para realizar las mediciones ha sido un analizador de frecuencias, en este caso un Bruel & Kjaer tipo 2270 con un micrófono tipo 4189.^[20]

Tras conocer los tres puntos clave del análisis, se comenta en que ha consistido el estudio.

Anteriormente ya se ha mencionado cuál es el registro del trombón tenor, partiendo de esta información se ha decidido en consenso con varios músicos profesionales que sería conveniente analizar el sonido del trombón en gran parte de su registro, es por eso por lo que se ha analizado desde un Fa2 hasta un Fa4.

El análisis se ha realizado de la siguiente manera:

El intérprete es situado en una esquina de la cámara anecoica y el sonómetro se coloca a aproximadamente dos metros de la fuente sonora.

El análisis se ha realizado siguiendo la siguiente tabla 21, donde los números representan el nombre del archivo que se guarda en el dispositivo, no es el mismo número para todas las columnas debido a que durante la grabación puede haber errores tanto por parte del músico como por el encargado de controlar el analizador de frecuencias.

Para las notas más agudas se configura otra ventana para así conseguir captar más información en las frecuencias altas.

Afinación a 442 Hz		Nota/ Material	PLA	Nailon	Aluminio	Latón
Carpeta Estándar	ESCALA	FA2	1	1	1	2
		SOL2	2	2	2	3
		LA2	3	3	3	4
		SI2	4	4	4	5
		DO3	5	5	5	6
		RE3	6	6	7	8
		MI3	7	7	8	9
		FA3	8	8	9	10
		SOL3	9	9	10	11
		LA3	10	10	11	12
		SI3	11	11	12	13
NV fc=1250Hz		DO4	1	1	1	1
		RE4	2	2	2	2
		MI4	3	3	3	3
		FA4	4	4	4	4

Tabla 21 Tabla del nombre de los archivos de la grabación de armónicos

Tras realizar todas las mediciones, se exportan los datos del dispositivo proporcionando un archivo Excel por cada una de las mediciones.

Esta información viene definida por la configuración del sonómetro, que era el siguiente:

- Amplitud de frecuencia: 1000 Hz (rango de estudio)
- Líneas: 3200 (Número de divisiones de la amplitud) Marca la resolución de las medidas.
- Frecuencia central: 500 Hz para las 11 primeras mediciones y 1250 Hz para las otras 4.
- Longitud de registro: 3,2 segundos (tiempo de grabación de cada nota)

Una vez se ordenan los diferentes archivos Excel para trabajar de forma eficaz los datos, se ha programado un código en *Matlab*, (se adjunta el código en los anejos) el cual proporciona la siguiente información:

- Realiza una gráfica superponiendo las mediciones de los 4 materiales con el espectro armónico de cada nota.
- Consigue encontrar los picos de los espectros proporcionando a la frecuencia en la que se ubica dicho punto.
- Calcula la amplitud/calidad de cada pico, esto será útil para comparar una misma nota con los diferentes materiales.
- “Limpia” los datos de los registros del material “PLA”. (Se configuro el sonómetro de forma poco eficiente para realizar comparaciones, un archivo de Excel no era correcto, y se utiliza parte del script del Matlab para utilizar solamente las columnas necesarias para el análisis.)

7.1. Resultados grabación

Los resultados de este análisis han sido, las gráficas de cada nota y dos tablas que relacionan el material con la frecuencia de los picos y con la amplitud de éstos, respectivamente. Estos datos, para cada una de las notas, se adjuntan en el anejo del proyecto. Para poder entender los resultados, a continuación, y como ejemplo se trabajará con tres notas de cada registro de la escala, quedando de la siguiente manera:

Registro grave: Fa2, Sol2, La2. Figura 51

Registro medio: Mi3, Fa3, Sol3. Figura 52

Registro agudo: Re4, Mi4, Fa4. Figura 53

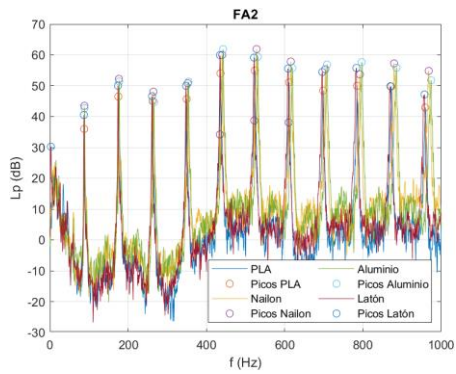


Figura 51 a) Espectro de frecuencia del Fa2

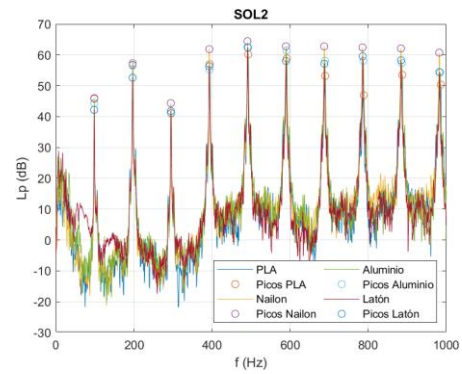


Figura 51 b) Espectro de frecuencia del Sol2

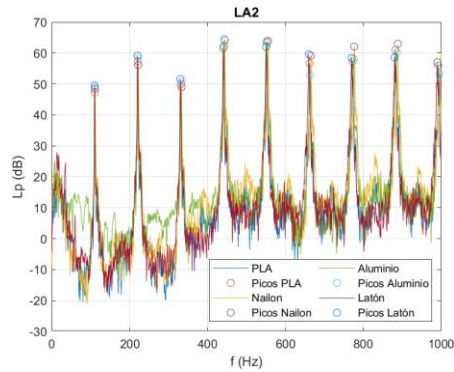


Figura 51 c) Espectro de frecuencia del La2

Figura 51 Espectro de frecuencias del registro grave

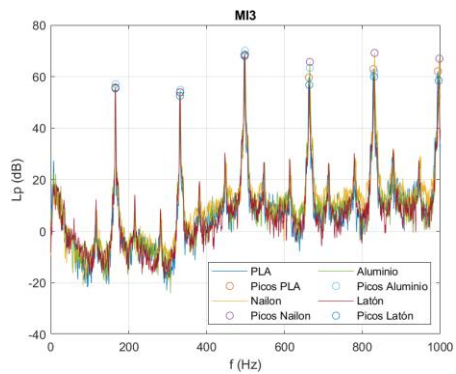


Figura 52 a) Espectro de frecuencias del Mi3

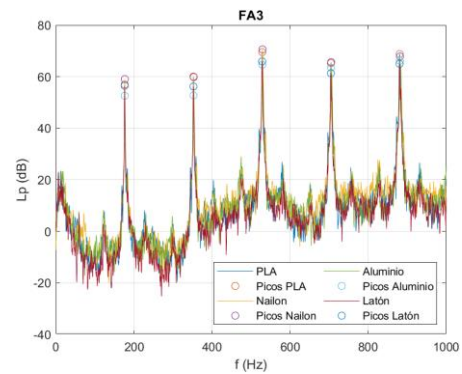


Figura 52 b) Espectro de frecuencias del Fa3

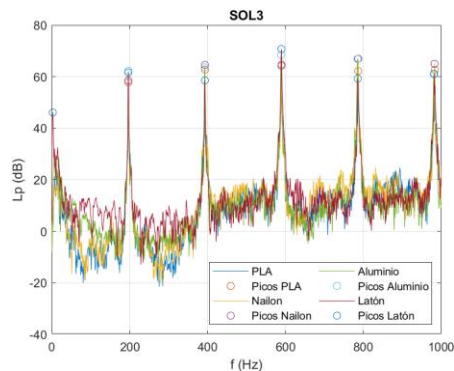


Figura 52 c) Espectro de frecuencias del Sol3

Figura 52 Espectro de frecuencias del registro medio

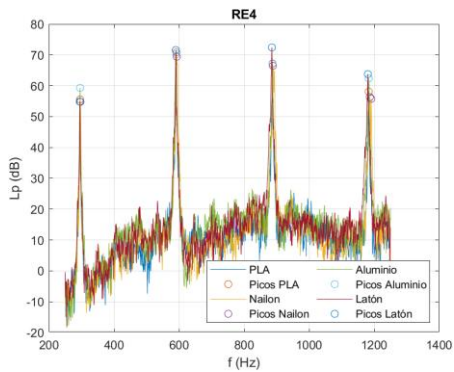


Figura 53 a) Espectro de frecuencia del Re4

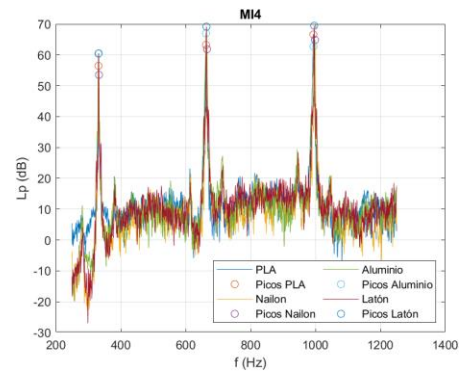


Figura 53 b) Espectro de frecuencias del Mi4

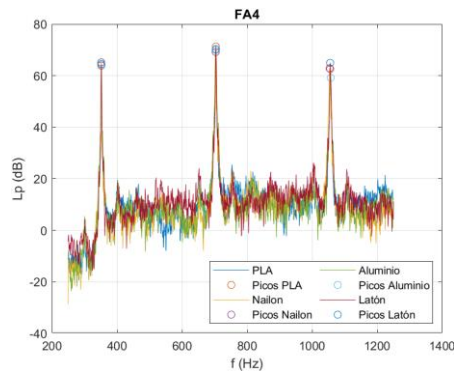


Figura 53 c) Espectro de frecuencias del Fa4

Figura 53 Espectro de frecuencia del registro agudo

Como se ha remarcado anteriormente, el programa también proporciona datos sobre los picos, y a partir de esos datos se han generado dos tablas que se adjuntan en los anejos, donde se aportan datos de frecuencia y ancho de cada pico del espectro grabado. Estas tablas cuentan con el cálculo de la dispersión que hay entre los diferentes materiales en una misma nota para cada pico. Del análisis de esta dispersión se observa que:

- La frecuencia del pico(armónico) no varía significativamente en función del material.
- El ancho del pico sí que tiene una dispersión más destacable.

Para ver de una forma más visual los datos de estas dos tablas se han generado gráficas por cada una de las notas, para así poder comparar de una forma más sencilla todos los armónicos.

Seguidamente se va a poner, de igual forma que se ha realizado con las gráficas anteriores, unos gráficos representativos de cada registro del trombón.

Para poder entender los siguientes gráficos se debe entender el significado que representan cada uno de ellos.

Partiendo de que, en todas las gráficas, el eje X hace referencia al armónico siendo el primero la nota fundamental y el resto siguiendo el orden de la serie armónica explicada al inicio del proyecto.

En las figuras 55,56,57, el eje Y representa la frecuencia del pico en cuestión.

Por otra parte, en las figuras 58,59,60, el eje Y representa el ancho del pico, que este generalmente se asocia a la calidad del armónico. En la figura 54 se muestra de forma ilustrativa el significado del valor del ancho de pico, nombrado usualmente con la letra “w”.

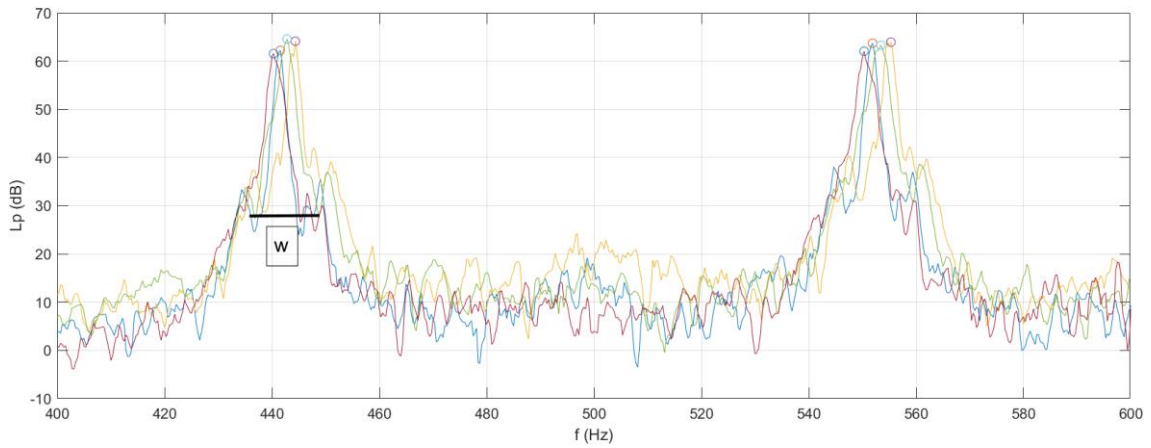


Figura 54 Representación gráfica del valor de la w

Este valor es proporcionado por una función del *Matlab*, con el nombre de “halfprom”, esta función devuelve el valor del ancho del pico que tiene a la mitad de la amplitud de la onda, en el caso anterior, como el pico está sobre 60 dB, el ancho se calcula a los 30 dB.

Cabe destacar que en este paso se han filtrado los datos, eliminando el exceso de armónicos, debido a que a partir del sexto armónico ya no proporciona un cambio significativamente audible, así que para facilitar el tratado de datos se ha limitado a 6, como máximo, el número de armónicos.

Con esta información ya se pueden entender los siguientes gráficos:

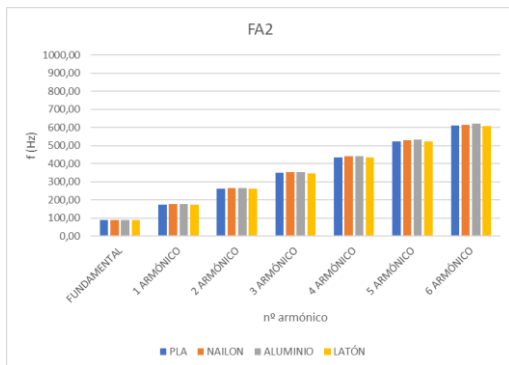


Figura 55 a) Frecuencias de los armónicos del Fa2

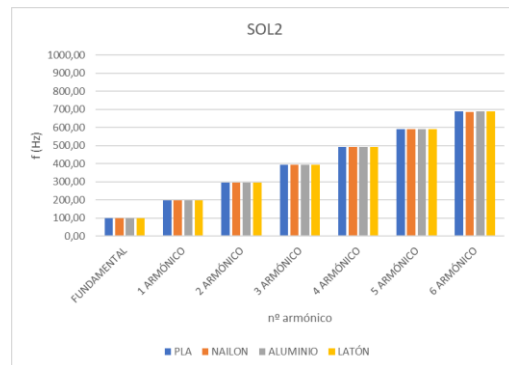


Figura 55 b) Frecuencias de los armónicos del Sol2

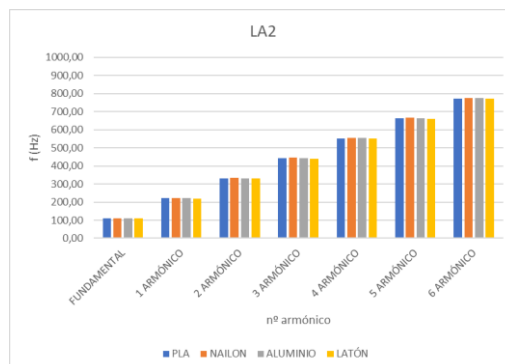


Figura 55 c) Frecuencias de los armónicos del La2

Figura 55 Frecuencias en función del material. Registro grave

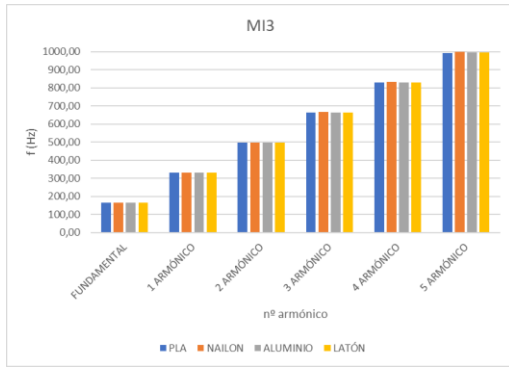


Figura 56 a) Frecuencias de los armónicos del Mi3

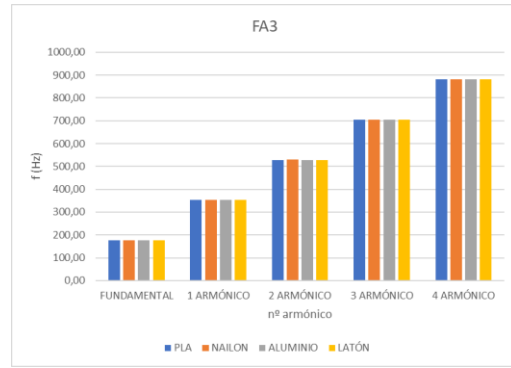


Figura 56 b) Frecuencias de los armónicos del Fa3

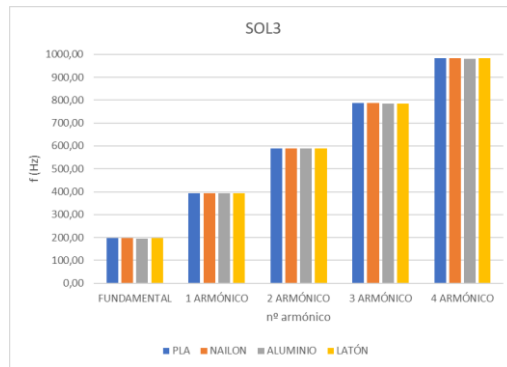


Figura 56 c) Frecuencias de los armónicos del Sol3

Figura 56 Frecuencias en función del material. Registro medio

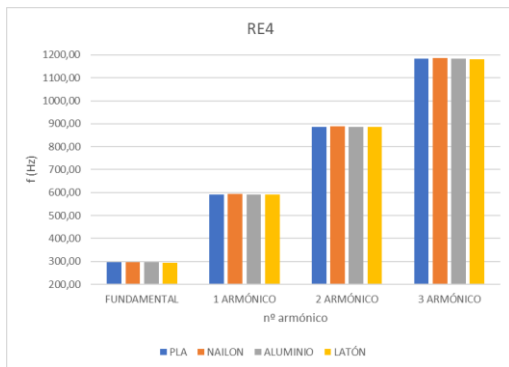


Figura 57 a) Frecuencias de los armónicos del Re4

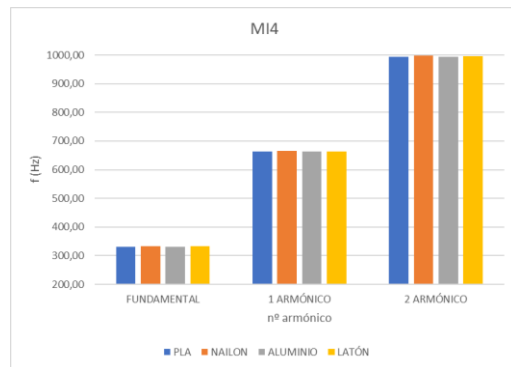


Figura 57 b) Frecuencias de los armónicos del Mi4

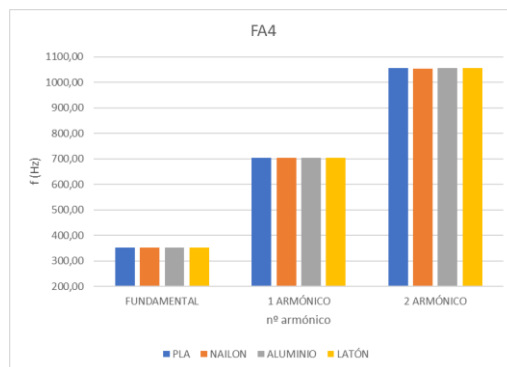


Figura 57 c) Frecuencias de los armónicos del Fa4

Figura 57 Frecuencias en función del material. Registro agudo

De estos gráficos se puede afirmar que la afinación del trombón no depende del material de la boquilla, ya que todas las mediciones tienen una similitud en todos los armónicos por encima del 98%. Con estas gráficas podemos postular la afirmación anterior: la frecuencia del pico (armónico) no varía en función del material de la boquilla.

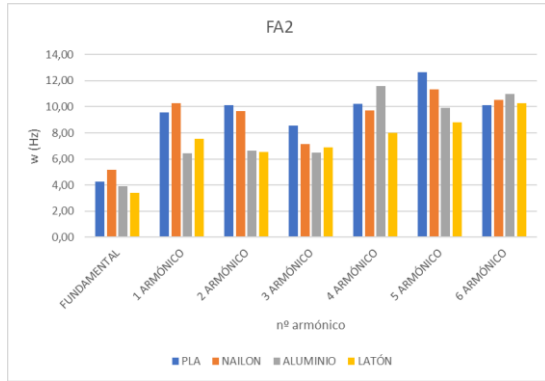


Figura 58 a) Ancho de los armónicos del Fa2

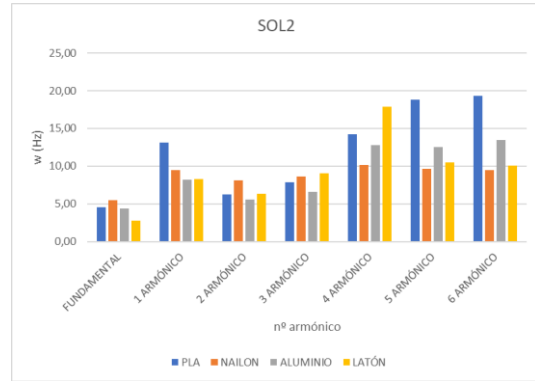


Figura 58 b) Ancho de los armónicos del Sol2

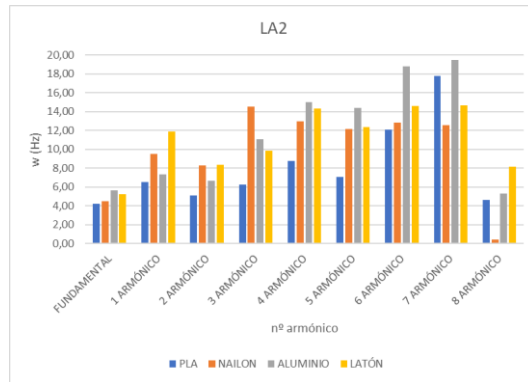


Figura 58 c) Ancho de los armónicos del La2

Figura 58 Ancho de los armónicos en función del material. Registro grave

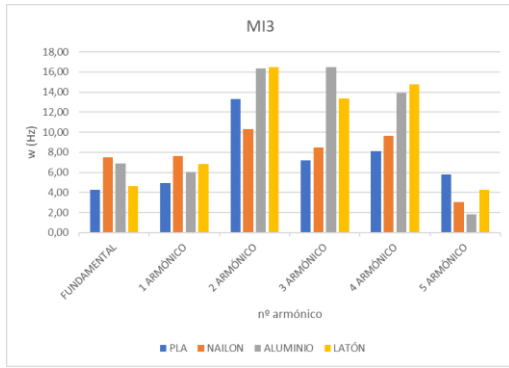


Figura 59 a) Ancho de los armónicos del Mi3

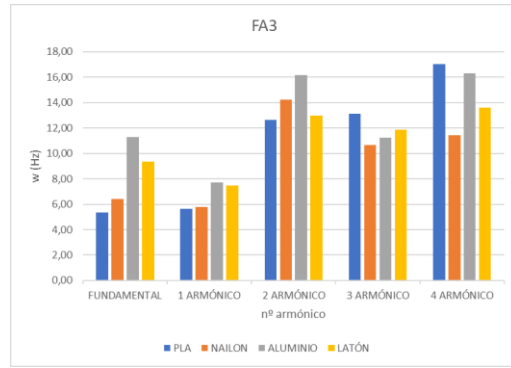


Figura 59 b) Ancho de los armónicos del Fa3

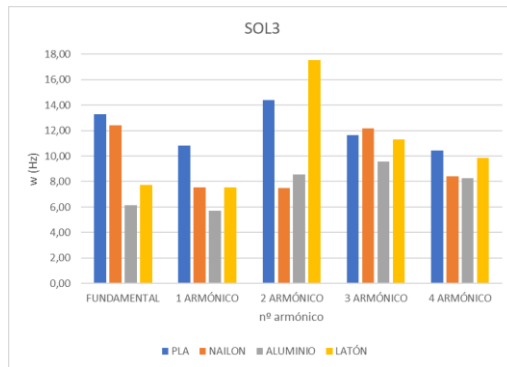


Figura 59 c) Ancho de los armónicos del Sol3

Figura 59 Ancho de los armónicos en función del material. Registro medio

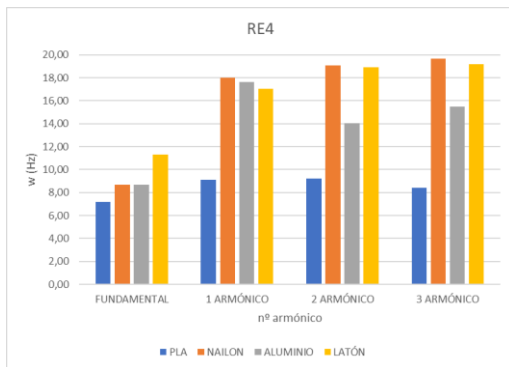


Figura 60 a) Ancho de los armónicos del Re4

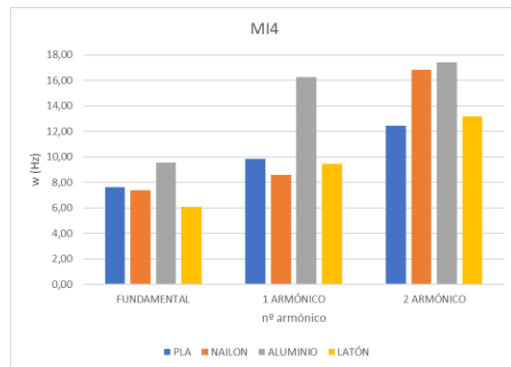


Figura 60 b) Ancho de los armónicos del Mi4

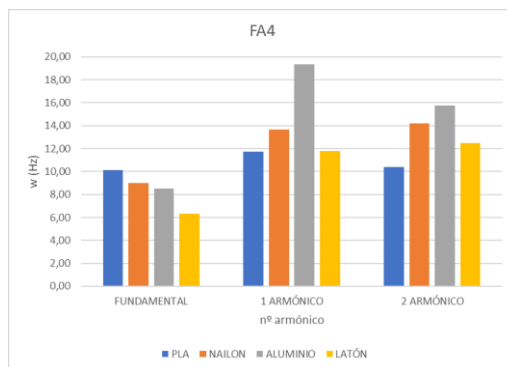


Figura 60 c) Ancho de los armónicos del Fa4

Figura 60 Ancho de los armónicos en función del material. Registro agudo

Estos gráficos relacionan los armónicos que proporciona cada boquilla de diferente material con el valor de la “w”, este valor como se había mencionado anteriormente hace referencia de forma inversamente proporcional a la calidad del sonido, es por eso por lo que se puede afirmar con total seguridad que el material sí que afecta al sonido.

Pero con los datos que se obtienen de “w” definidos a partir de la función del Matlab (frecuencias a derecha-izquierda con la mitad de dB del pico) no se pueden cuantificar los cambios. Se evidencia que existen cambios, pero no su importancia, ya que no es posible asegurar que el intérprete a ejecutado con la misma intensidad todas las notas. Para ello es necesario normalizar:

Como se ha enumerado al inicio del capítulo, el programa de *Matlab* proporciona tres datos de los picos, el nivel de presión, L_p (dB), la frecuencia, f (Hz) y el ancho, w (Hz).

Pues si se normaliza la presión sonora del primer armónico (fundamental), a un nivel de presión elegido, por ejemplo 50 dB, se obtiene una variación, ahora si comparable entre las diferentes boquillas. Ahora los cambios en la altura o anchura de los picos ya no son relativos en función de cada nota, sino para todas las notas la diferencia es cuantificable.

Con las tablas de los valores de L_p normalizado, se generan unas gráficas para poder comparar visualmente que cambios notables se observan entre cada material.

En resumen, con los datos normalizados, los valores de los armónicos ya son comparables así que las variaciones que se observen en los armónicos van ligadas directamente con el sonido del trombón. Destacando que el sonido 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).

Antes de empezar a comparar las boquillas, se debe advertir que los datos de la boquilla fabricada en la impresora 3D con PLA no se pueden comparar, ya que se ha comprobado que al fabricarse en impresión 3D, la pieza no es maciza, sino que tiene espacios huecos en la copa de la boquilla, proporcionando unos datos muy dispares al de las otras boquillas.

Es por eso por lo que en las comparaciones no se va a mencionar nada respecto esta boquilla, pues claramente hay una diferencia, pero no es debida únicamente al material, sino que la diferencia radica en el cambio de la morfología interna de la boquilla, como se puede apreciar en la figura 61, puesto que la boquilla ha sido impresa en las instalaciones del Campus de Alcoy, sin tener información de su fabricación. Así que se ha seccionado parte de una boquilla prototipo para confirmar la teoría de que la copa está fabricada con huecos entre las capas.



Figura 61 a) Vista en perspectiva de la sección del interior de la copa

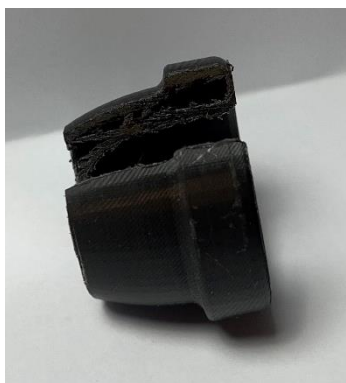


Figura 61 b) Sección longitudinal del interior de la copa



Figura 61 c) Sección transversal de la parte interna de la copa de la boquilla

Figura 61 Ejemplificación de la morfología interna de la copa fabricada en impresora 3D

Así pues, seguidamente se va a contrastar la información de las gráficas según el registro: grave, medio y agudo.

7.2. Comparación de resultados

En primer lugar, el registro grave:

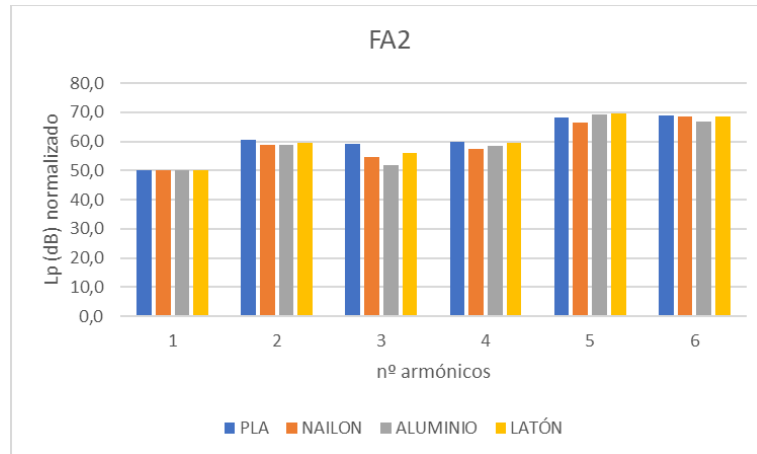


Figura 62 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota FA2

En esta primera comparación se refleja que el latón reproduce, en líneas generales, los armónicos de las frecuencias graves con una mayor intensidad que el resto, siendo el nailon y el aluminio prácticamente a la par, los que cuentan con una menor intensidad en cuanto a reproducción de armónicos, esto repercute en un sonido más oscuro para estos dos materiales. Pero no se pueden diferenciar entre estos dos, ya que dependiendo del armónico uno es más brillante que el otro, y viceversa, así que los datos para el nailon y el aluminio no son concluyentes. Si que se puede afirmar que el latón es más brillante en esta frecuencia.

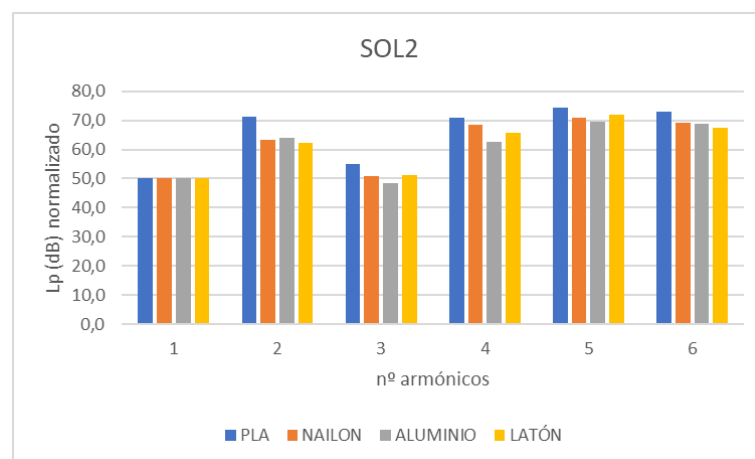


Figura 63 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota SOL2

En esta gráfica se ve resaltada una peculiaridad que se presenta en todo el registro grave, pero que en esta nota se ve acentuado, y es que en el segundo armónico (nº3 en el gráfico), presenta una disminución considerable respecto a las demás medidas.

En líneas generales se puede afirmar que el nailon y el latón tiene un comportamiento similar en todos los armónicos, en cambio el aluminio tiene una evolución totalmente aleatoria, comparándose con los otros dos materiales.

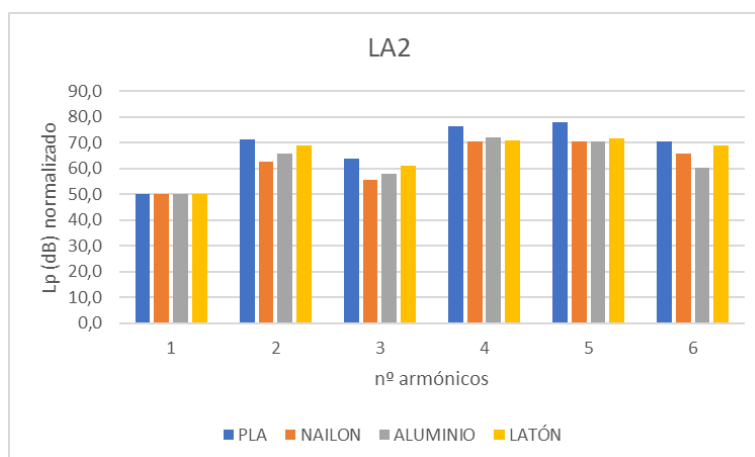


Figura 64 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota LA2

En las cuatro primeras frecuencias se obtienen unos valores para cada material que se repiten de forma semejante para cada armónico a excepción del último, donde el aluminio absorbe más energía de la esperada.

Por lo general se observa que el nailon tiene una mayor capacidad para disminuir el nivel de presión en estas frecuencias, sobre todo se ve acentuado este fenómeno en los dos primeros armónicos (en la gráfica el 2 y el 3), destacando que estos dos primeros armónicos son los que proporcionan el timbre característico en los instrumentos musicales. Así que se afirma que el sonido es más oscuro en esta tesitura para la boquilla de nailon, seguido por la de aluminio y por último la de latón ha sido la que más frecuencias altas ha mantenido.

En conclusión, según se ha observado en las tres gráficas anteriores, en este registro las diferencias por el material son del orden de magnitud de unos pocos dB, aunque no se debe ignorar este resultado, ya que el nivel de presión sonora L_p (dB) es en escala logarítmica, y 3 dB de diferencia significan la mitad/doble de energía acústica. Pero los datos, al menos para el registro grave, no son lo suficiente mente concluyentes como para afirmar que material aporta más oscuridad o brillo al sonido, ya que en cada una de las notas este posicionamiento ha ido oscilando.

En segundo lugar, el registro medio:

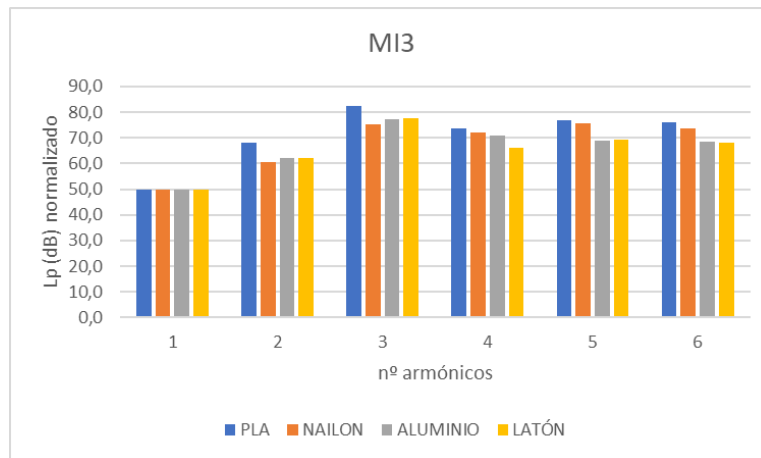


Figura 65 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota MI3

Para entender esta gráfica se debe conocer que aporta cada armónico al sonido de un instrumento. Anteriormente ya se ha mencionado que la primera columna es la frecuencia fundamental de la nota, las dos siguientes, son los 2 primeros armónicos y estos proporcionan el timbre del instrumento, siendo este diferente para cada instrumento, pero estos armónicos también determinan la percepción del oyente, de si es una nota con sonido brillante (los armónicos de frecuencias altas tienen mayores niveles de presión sonora), o un sonido más oscuro (lo contrario), entonces el resto de armónicos simplemente aportan calidad al sonido, hacen que sea un sonido más completo o menos, a más armónicos teóricamente se obtiene una calidad sonora mejor, pero siempre sin excederse de un límite, que no entra dentro de los objetivos del proyecto.

También remarcar que el músico cuando toca una nota, ya la tiene en la cabeza con anterioridad, y la sensación que le da a él de facilidad o dificultad va en función de cuanto le cuesta conseguir el sonido que él quiere.

Así que en la gráfica esta se observa como en los dos primeros armónicos el nailon produce un sonido más oscuro y el latón más brillante, y en los tres últimos pasa completamente lo contrario.

Esto lo que provoca es que la boquilla de nailon produzca un sonido más oscuro y completo y el latón un sonido brillante y con la sensación de vacío por lo de la disminución de los niveles de presión en los últimos armónicos.

En el caso del aluminio, se obtiene un resultado bastante constante durante toda la serie armónica, esto traducido por las sensaciones que percibe el músico, es que la boquilla apagada el sonido.

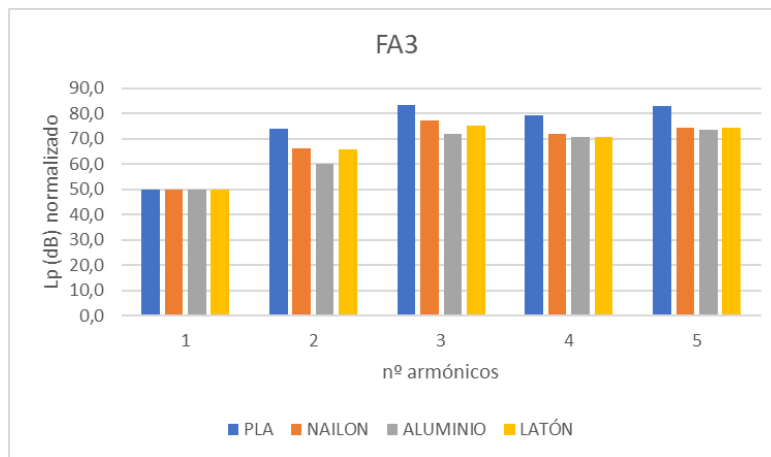


Figura 66 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota FA3

En esta ocasión la boquilla de nailon proporciona un sonido ligeramente más brillante, quedando justo por debajo la boquilla de latón. En esta casuística la boquilla de aluminio, al igual que en la anterior, proporciona un sonido más neutro y sin ningún detalle a destacar.

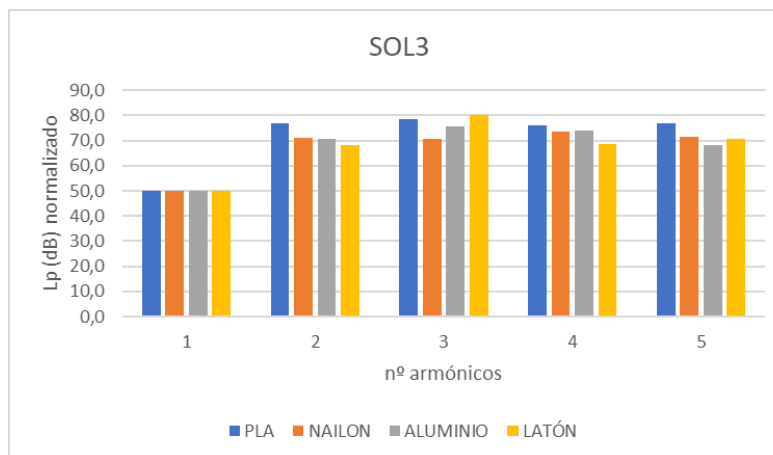


Figura 67 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota SOL3

Para terminar esta sección, se comenta este gráfico que presenta una particularidad en el segundo armónico.

Este coincide con el valor de frecuencia, $f=589$ Hz, el único fenómeno que puede explicar este fenómeno es que esta frecuencia entra en resonancia con los metales, siendo el latón en el que más se destaca.

Por norma general, en el Sol3 se advierte un sonido más oscuro para la boquilla de latón, y más brillante para el nailon. El aluminio sigue ofreciendo un sonido sin ningún posicionamiento.

En tercer y último lugar, el registro agudo:

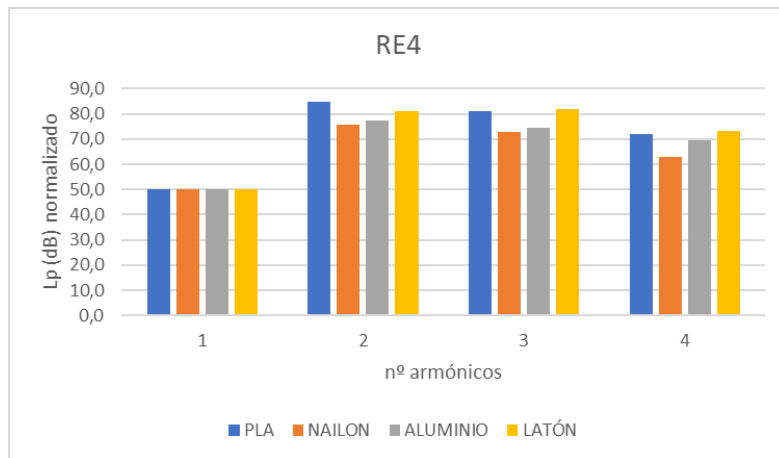


Figura 68 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota RE4

En este registro la influencia del material ya provoca unos cambios más drásticos en la producción de los armónicos.

En primer lugar, como se viene corroborando de las anteriores gráficas, el latón aporta una mayor presencia de armónicos, convirtiendo esta boquilla en la más brillante en esta casuística.

Por otra parte, se obtiene un sonido más oscuro en la boquilla de nylon y el aluminio se queda en unos valores intermedios.

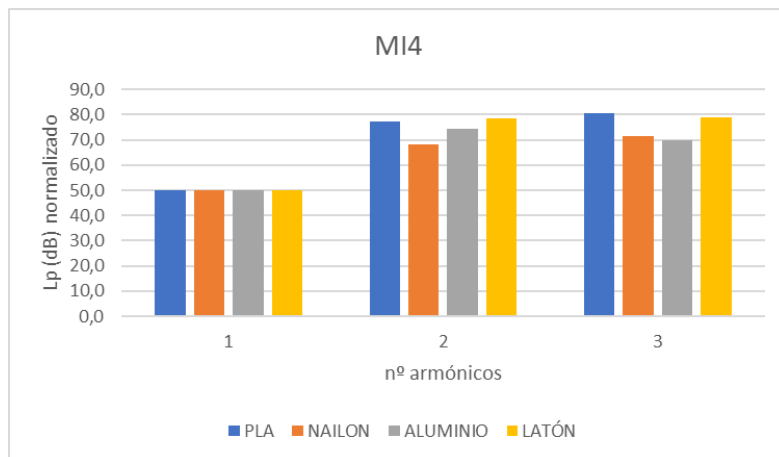


Figura 69 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota MI4

En este caso ya solamente se cuenta con los datos de los dos primeros armónicos, así que a priori como sigue la misma tendencia que en la figura 68, se considera afirmar que se producen el mismo tipo de sonidos que en el caso anterior.

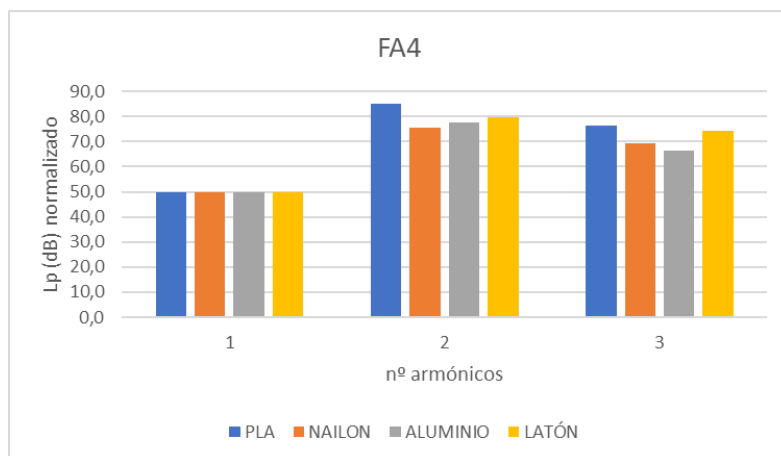


Figura 70 Comparación de los niveles de presión normalizados por armónicos. Nota FA4

Para terminar con el registro agudo, se cuenta con la información de este gráfico que no sirve para nada ni nada menos que corroborar lo que se ha ido comentando de los gráficos anteriores.

Así que, se tiene una conclusión de que en el registro agudo el latón se comporta más brillante, siguiéndolo el aluminio. Siendo los armónicos ejecutados con la boquilla de nailon, los que menor intensidad presentan.

Para terminar con la comparación de los materiales, se va a resumir brevemente los tres registros y buscar una relación entre estos.

- Se van a ordenar los materiales de más oscuro a más brillante.
 - Registro grave: Nailon, Aluminio, Latón.
 - Registro medio: Latón, Aluminio, Nailon.
 - Registro agudo: Nailon, Aluminio, Latón.

Aunque se tiende a pensar que el metal ofrece un sonido más oscuro por su alta densidad, se suele afirmar erróneamente que oscurece el sonido, pero se ha podido comprobar que no es así, pues en los registros donde más influye la boquilla (ya que el registro medio es el más fácil de hacer sonar) el material que más oscurece el sonido es el nailon. Esto puede deberse en parte a la porosidad de este material.

Por otro lado, el aluminio a priori es el que proporciona un sonido más uniforme y plano según los datos, pero justamente esto es lo que un músico no quiere. Esto ya está a la elección del intérprete, pero se suelen posicionar en uno de los extremos, ya que esto les facilita conseguir el sonido que ellos tienen en su mente.

Generalmente en la música clásica se busca un sonido más oscuro así que en conclusión la boquilla de nailon es la que en principio facilita más este sonido.

8. Conclusiones y líneas futuras

8.1. Conclusiones

Tras haber finalizado el proyecto y haber cumplido con los objetivos marcados, se concluye con que se corrobora que el proceso de fabricación de una boquilla está en continua evolución desde su primer diseño hasta hoy en día. Sigue siendo un campo por explorar y por optimizar.

Pero sin ningún tipo de duda también cabe remarcar que las boquillas fabricadas para el proyecto han pasado las pruebas de funcionalidad, siendo esto todo un logro, confirmando que el proceso de fabricación ha cumplido con los cánones establecidos por los diseños.

Teniendo en cuenta que las herramientas para la fabricación han sido limitadas, por no hablar de los materiales, como futuro ingeniero y músico afirmo que se ha finalizado el proceso de fabricación con éxito.

Por último, pero no por ello menos importante, el análisis acústico ha aportado datos concluyentes acerca de los materiales, siendo el nailon el que mejor resultado ha obtenido, ya que en la música clásica lo que se busca es un sonido oscuro, y es este material el que ha destacado de entre los demás. En parte, esta propiedad de aportar oscuridad se puede afirmar que es por la densidad del material y por la porosidad de este. Factores a tener en cuenta en la elección de una boquilla.

En resumen, tras realizar el proyecto se ha podido confirmar que ha sido posible crear un proceso de fabricación único con el que se ha materializado el diseño.

Por otra parte, se ha llegado a una conclusión en base a la comparación de los materiales, así que se da por concluido satisfactoriamente el proyecto.

8.2. Líneas futuras

Después de la ejecución de este proyecto, y del cumplimiento de sus objetivos, se ha evidenciado que:

Por la parte de organización, este proyecto necesita una evolución en cuanto a herramientas y sistemas de producción. Desde el punto de vista económico también se requiere una optimización de recursos.

Por la parte de acústica, el futuro de este proyecto recae en la consecución del estudio y parametrización de los factores que afectan al sonido. Es posible relacionar, y queda como línea a estudiar, parámetros mecánicos como el factor de pérdidas con la calidad de los armónicos.

Esto ha llevado al alumno autor de este proyecto, a interesarse por dos másteres de líneas muy diferentes, pero a la par muy ligados al proyecto, son: Máster en Organización y Logística y el Máster en Ingeniería Acústica.

9. Bibliografía

- [1] Artículo de la página web: el-atril.com
<https://www.el-atril.com/orquesta/Instrumentos/Trombon.htm#:~:text=El%20tromb%C3%B3n%20proviene%20de%20la,los%20instrumentos%20met%C3%A1licos%20de%20boquilla>
- [2] Ignacio Pecino, Teoría de Sistemas Musicales
2ª parte: Fractalidad en la serie Armónica.
Revista on-line de música y arte sonoro, n7, julio-agosto 2014
http://3epoca.sulponticello.com/wp-content/uploads/2014/07/007_taller-de-ideas.pdf
- [3] Ellis Antonio Newman Cano. Manual para la consecución del registro total del trombón. Tesis Doctoral.
Programa de Maestría en música, Universidad de Panamá 2012
http://up-rid.up.ac.pa/2741/3/ellis_newman.pdf
- [4] Página web de Bach, Selmer. Boquillas, Última vista: 02/06/2022
<https://www.bachbrass.com/instruments/mouthpieces>
- [5] Javier Gastón D'Angelo y Carlos Julián Gabri. Diseño de una cámara anecoica. Tesis Final de Grado.
Universidad Argentina de la Empresa.
https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/5784/Proyecto_Final_de_Ingenier%c3%ada_Dise%c3%blo_de_una_c%c3%almara_anecoica.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [6] Artículo de Industria UGATU S.L.
https://www.ugatu.com/media/uploads/pdf/M%C3%A9todos_de_fabricaci%C3%B3n.pdf
- [7] Página web de Bach, Selmer. Historia. Última vista 02/06/2022
<https://www.bachbrass.com/about-us>
- [8] Web de venta de instrumentos musicales. Última vista 02/06/2022
<https://www.trinomusic.com/catalogo/viento-metal/trombones/boquillas/boquilla-trombon-bach-clasica-ancha>
- [9] Sanganxa. Tienda de música. Última vista 02/06/2022
<https://www.sanganxa.com/boquilla-trombon-jk-6cl-exclusive.html>
- [10] Thomann. Tienda de música. Última vista 02/06/2022
https://www.thomann.de/es/christian_lindberg_2cl.htm
- [11] Software Granta Edupack, Librería de resultados
<https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>

- [12] Página web de la UJI
<https://sites.google.com/view/poliacidolactico-coma/poli%C3%A1cido-1%C3%A1ctico/propiedades-del-pla>
- [13] Página web de venta de material. Broncesval. Última vista 02/06/2022
<https://www.broncesval.com/>
- [14] S. Kalpakjian Manufactura, ingeniería y tecnología. Quinta edición. Editorial Pearson Prentice Hall. ISBN. 970-26-1026-5
- [15] Blog de empresa dedicada al mecanizado. Última vista 02/06/2022
<https://www.mecanizadosgarrigues.es/blog/tornos-cnc/>
- [16] Miguel Ángel Sellés Cantó. Introducción a la Programación Manual del Control Numérico.
Apuntes de la asignatura: Fabricación asistida por ordenador CAD-CAM-CIM
4ºGIM
Departamento de mecánica y materiales EPSA.
- [17] Listado de precios maquinaria y materiales Última vista 02/06/2022
Filamento impresora
https://www.amazon.es/dp/B0895MNZJS?ref=cm_sw_r_cp_ud_dp_E0G6RM3CBJGTNSDS17RN
Barra nailon
<https://serveiestacio.com/es/barra-redonda-de-nylon.html>
Barra aluminio
https://www.amazon.es/dp/B099Z2C84H?ref=cm_sw_r_cp_ud_dp_CP4EXBCT7PEG3EZ8EM6H
Barra latón
https://www.amazon.es/dp/B08FM9ZLBM?ref=cm_sw_r_cp_ud_dp_AJ9QEB41RJT5N86NWH6M
Torno convencional:
<https://www.pinachocnc.com/tornos/torno-convencional-ml/>
Impresora 3D
https://www.amazon.es/dp/B09FZJVMP9?ref=cm_sw_r_cp_ud_dp_WHEB0FC02HGFKKMWYPVV
- [18] Extracto del convenio del metal Última vista 02/06/2022
<https://industria.ccoo.es/501ced133ae384b2eafa33c92b29d49f000060.pdf>
- [19] Listado de precios de boquillas (solo fijarse en tenor) Última vista 02/06/2022
<https://www.laboratoriosonoro.es/las-12-mejores-boquillas-para-trombon>
- [20] Juan Pedro Romero Nieto Estudio de durabilidad de cañas de oboe a partir de parámetros de calidad sonora.
Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. Diciembre 2015
<https://riunet.upv.es/bitstream/id/277662/ROMERO%20-%20ESTUDIO%20DE%20DURABILIDAD%20DE%20CA%20C3%91AS%20DE%20OBOE%20A%20PARTIR%20DE%20PAR%20C3%81METROS%20DE%20CALIDAD%20SONORA.pdf>

- [21] Alba J., Cruaños J., Ramis J., Romaguera C., García A., del Rey R.
Estudio preliminar de la calidad sonora de diferentes boquillas de trompa.
TecnoAcústica 2009 Cádiz.
http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Cadiz09/Cadiz09_AMS_001.pdf
- [22] Alba J., del Rey R., Bertó L., Ronda A.
Comparativa de armónicos en la reproducción de notas con diferentes trompetas.
TecnoAcústica 2011. 42º Congreso español de acústica. Cáceres
http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Caceres11/Caceres11_AMS001.pdf
- [23] Del Rey R., Alba J., Sanchis V. Estudio de la rigidez dinámica de espumas
recicladas del textil.
TecnoAcústica 41º Congreso español de acústica. León.
http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Leon10/MAT_005.pdf

10. Anejos

Como anejo se ha considerado oportuno adjuntar todos los pdf's de las tablas y gráficas que se han elaborado para llevar a cabo este proyecto, así como el código fuente del Matlab.


```
clear all
file = 'Resum Mesures Escala Anecoica.xlsx';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 1. carga de datos EXCEL
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% PLA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PLA = xlsread(file, 'PLA');
freqs = PLA(1, 1:end);
freqagud = PLA(23, 1:3201);
PLA_FA2 = PLA(6, 1:end);
PLA_SOL2 = PLA(7, 1:end);
PLA_LA2 = PLA(8, 1:end);
PLA_SI2 = PLA(9, 1:end);
PLA_DO3 = PLA(10, 1:end);
PLA_RE3 = PLA(11, 1:end);
PLA_MI3 = PLA(12, 1:end);
PLA_FA3 = PLA(13, 1:end);
PLA_SOL3 = PLA(14, 1:end);
PLA_LA3 = PLA(15, 1:end);
PLA_SI3 = PLA(16, 1:end);
PLA_DO4 = PLA(24, 1:3201);
PLA_RE4 = PLA(25, 1:3201);
PLA_MI4 = PLA(26, 1:3201);
PLA_FA4 = PLA(27, 1:3201);

% eliminamos los índices con valores nulos (NaN) <-- SOLO para pla
indices = 1:length(PLA_FA2);
indices_nulos = find(isnan(PLA_FA2));
indices_plot = setdiff(indices, indices_nulos);

freqs_PLA = freqs(indices_plot);
PLA_FA2 = PLA_FA2(indices_plot);
PLA_SOL2 = PLA_SOL2(indices_plot);
PLA_LA2 = PLA_LA2(indices_plot);
PLA_SI2 = PLA_SI2(indices_plot);
PLA_DO3 = PLA_DO3(indices_plot);
PLA_RE3 = PLA_RE3(indices_plot);
PLA_MI3 = PLA_MI3(indices_plot);
PLA_FA3 = PLA_FA3(indices_plot);
PLA_SOL3 = PLA_SOL3(indices_plot);
PLA_LA3 = PLA_LA3(indices_plot);
PLA_SI3 = PLA_SI3(indices_plot);

% NAILON
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
nailon = xlsread(file, 'Nailon');
freqs = nailon(7, 1:end);
nailon_FA2 = nailon(8, 1:end);
nailon_SOL2 = nailon(9, 1:end);
```

```
nylon_LA2 = nylon(10, 1:end);
nylon_SI2 = nylon(11, 1:end);
nylon_DO3 = nylon(12, 1:end);
nylon_RE3 = nylon(13, 1:end);
nylon_MI3 = nylon(14, 1:end);
nylon_FA3 = nylon(15, 1:end);
nylon_SOL3 = nylon(16, 1:end);
nylon_LA3 = nylon(17, 1:end);
nylon_SI3 = nylon(18, 1:end);
nylon_DO4 = nylon(2, 1:3201);
nylon_RE4 = nylon(3, 1:3201);
nylon_MI4 = nylon(4, 1:3201);
nylon_FA4 = nylon(5, 1:3201);
```

% ALUMINIO

%%%

```
aluminio = xlsread(file, 'Aluminio');
aluminio_FA2 = aluminio(2, 1:end);
aluminio_SOL2 = aluminio(3, 1:end);
aluminio_LA2 = aluminio(4, 1:end);
aluminio_SI2 = aluminio(5, 1:end);
aluminio_DO3 = aluminio(6, 1:end);
aluminio_RE3 = aluminio(7, 1:end);
aluminio_MI3 = aluminio(8, 1:end);
aluminio_FA3 = aluminio(9, 1:end);
aluminio_SOL3 = aluminio(10, 1:end);
aluminio_LA3 = aluminio(11, 1:end);
aluminio_SI3 = aluminio(12, 1:end);
aluminio_DO4 = aluminio(15, 1:end);
aluminio_RE4 = aluminio(16, 1:end);
aluminio_MI4 = aluminio(17, 1:end);
aluminio_FA4 = aluminio(18, 1:end);
```

% LATON

%%%

```
laton = xlsread(file, 'Latón');
laton_FA2 = laton(11, 1:end);
laton_SOL2 = laton(12, 1:end);
laton_LA2 = laton(13, 1:end);
laton_SI2 = laton(14, 1:end);
laton_DO3 = laton(15, 1:end);
laton_RE3 = laton(17, 1:end);
laton_MI3 = laton(18, 1:end);
laton_FA3 = laton(19, 1:end);
laton_SOL3 = laton(20, 1:end);
laton_LA3 = laton(21, 1:end);
laton_SI3 = laton(22, 1:end);
laton_DO4 = laton(2, 1:end);
laton_RE4 = laton(3, 1:end);
```

```
laton_MI4 = laton(4, 1:end);  
laton_FA4 = laton(5, 1:end);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%2. Representación gráfica  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% FA2  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
figure("Name", "FA2");  
PLA_FA2_smooth = smooth(PLA_FA2(:));  
%[pks,locs,w,p] = findpeaks(PLA_smooth, freqs, 'MinPeakProminence', 10, 'Annotate', ↵  
'extents', 'WidthReference', 'halfheight');  
[pks_pFA2,locs_pFA2,w_pFA2] = findpeaks(PLA_FA2_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight', ↵  
30, 'MinPeakProminence', 10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')  
plot (freqs_PLA, PLA_FA2_smooth, locs_pFA2, pks_pFA2, 'o');  
hold on;  
nailon_FA2_smooth = smooth(nailon_FA2(:));  
[pks_nFA2,locs_nFA2,w_nFA2] = findpeaks(nailon_FA2_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', ↵  
30, 'MinPeakProminence', 10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')  
plot (freqs, nailon_FA2_smooth, locs_nFA2, pks_nFA2, 'o');  
grid;  
aluminio_FA2_smooth = smooth(aluminio_FA2(:));  
[pks_aFA2,locs_aFA2,w_aFA2] = findpeaks(aluminio_FA2_smooth, freqs, ↵  
'MinPeakHeight', 30, 'MinPeakProminence', 10, 'Annotate', 'extents', ↵  
'WidthReference', 'halfprom')  
plot (freqs, aluminio_FA2_smooth, locs_aFA2, pks_aFA2, 'o');  
grid;  
laton_FA2_smooth = smooth(laton_FA2(:));  
[pks_lFA2,locs_lFA2,w_lFA2] = findpeaks(laton_FA2_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', ↵  
30, 'MinPeakProminence', 10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')  
plot (freqs, laton_FA2_smooth, locs_lFA2, pks_lFA2, 'o');  
grid;
```

```
% SOL2  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
figure("Name", "SOL2");  
PLA_SOL2_smooth = smooth(PLA_SOL2(:));  
[pks_pSOL2,locs_pSOL2,w_pSOL2] = findpeaks(PLA_SOL2_smooth, freqs_PLA, ↵  
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence', 10, 'Annotate', 'extents', ↵  
'WidthReference', 'halfprom')  
plot (freqs_PLA, PLA_SOL2_smooth, locs_pSOL2, pks_pSOL2, 'o');  
hold on;  
nailon_SOL2_smooth = smooth(nailon_SOL2(:));  
[pks_nSOL2,locs_nSOL2,w_nSOL2] = findpeaks(nailon_SOL2_smooth, freqs, ↵
```

```
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, nylon_SOL2_smooth, locs_nSOL2, pks_nSOL2, 'o');
grid;
aluminio_SOL2_smooth = smooth(aluminio_SOL2(:));
[pks_aSOL2,locs_aSOL2,w_aSOL2] = findpeaks(aluminio_SOL2_smooth, freqs, ↵
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_SOL2_smooth, locs_aSOL2, pks_aSOL2, 'o');
grid;
laton_SOL2_smooth = smooth(laton_SOL2(:));
[pks_lSOL2,locs_lSOL2,w_lSOL2] = findpeaks(laton_SOL2_smooth, freqs, ↵
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_SOL2_smooth, locs_lSOL2, pks_lSOL2, 'o');
grid;

% LA2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name","LA2");
PLA_LA2_smooth = smooth(PLA_LA2(:));
[pks_pLA2,locs_pLA2,w_pLA2] = findpeaks(PLA_LA2_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight', ↵
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs_PLA, PLA_LA2_smooth, locs_pLA2, pks_pLA2, 'o');
hold on;
nylon_LA2_smooth = smooth(nylon_LA2(:));
[pks_nLA2,locs_nLA2,w_nLA2] = findpeaks(nylon_LA2_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', ↵
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, nylon_LA2_smooth, locs_nLA2, pks_nLA2, 'o');
grid;
aluminio_LA2_smooth = smooth(aluminio_LA2(:));
[pks_aLA2,locs_aLA2,w_aLA2] = findpeaks(aluminio_LA2_smooth, freqs, ↵
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_LA2_smooth, locs_aLA2, pks_aLA2, 'o');
grid;
laton_LA2_smooth = smooth(laton_LA2(:));
[pks_lLA2,locs_lLA2,w_lLA2] = findpeaks(laton_LA2_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', ↵
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_LA2_smooth, locs_lLA2, pks_lLA2, 'o');
grid;

% SI2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name","SI2");
PLA_SI2_smooth = smooth(PLA_SI2(:));
[pks_pSI2,locs_pSI2,w_pSI2] = findpeaks(PLA_SI2_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight', ↵
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs_PLA, PLA_SI2_smooth, locs_pSI2, pks_pSI2, 'o');
hold on;
nylon_SI2_smooth = smooth(nylon_SI2(:));
[pks_nSI2,locs_nSI2,w_nSI2] = findpeaks(nylon_SI2_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', ↵
```

```
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, nailon_SI2_smooth, locs_nSI2, pks_nSI2, 'o');
grid;
aluminio_SI2_smooth = smooth(aluminio_SI2(:));
[pks_aSI2,locs_aSI2,w_aSI2] = findpeaks(aluminio_SI2_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_SI2_smooth, locs_aSI2, pks_aSI2, 'o');
grid;
laton_SI2_smooth = smooth(laton_SI2(:));
[pks_lSI2,locs_lSI2,w_lSI2] = findpeaks(laton_SI2_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_SI2_smooth, locs_lSI2, pks_lSI2, 'o');
grid;

% DO3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name", "DO3");
PLA_DO3_smooth = smooth(PLA_DO3(:));
[pks_pDO3,locs_pDO3,w_pDO3] = findpeaks(PLA_DO3_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight',
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs_PLA, PLA_DO3_smooth, locs_pDO3, pks_pDO3, 'o');
hold on;
nailon_DO3_smooth = smooth(nailon_DO3(:));
[pks_nDO3,locs_nDO3,w_nDO3] = findpeaks(nailon_DO3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, nailon_DO3_smooth, locs_nDO3, pks_nDO3, 'o');
grid;
aluminio_DO3_smooth = smooth(aluminio_DO3(:));
[pks_aDO3,locs_aDO3,w_aDO3] = findpeaks(aluminio_DO3_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_DO3_smooth, locs_aDO3, pks_aDO3, 'o');
grid;
laton_DO3_smooth = smooth(laton_DO3(:));
[pks_lDO3,locs_lDO3,w_lDO3] = findpeaks(laton_DO3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_DO3_smooth, locs_lDO3, pks_lDO3, 'o');
grid;

% RE3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name", "RE3");
PLA_RE3_smooth = smooth(PLA_RE3(:));
[pks_pRE3,locs_pRE3,w_pRE3] = findpeaks(PLA_RE3_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight',
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs_PLA, PLA_RE3_smooth, locs_pRE3, pks_pRE3, 'o');
hold on;
nailon_RE3_smooth = smooth(nailon_RE3(:));
[pks_nRE3,locs_nRE3,w_nRE3] = findpeaks(nailon_RE3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
```

```
plot (freqs, nailon_RE3_smooth, locs_nRE3, pks_nRE3, 'o');
grid;
aluminio_RE3_smooth = smooth(aluminio_RE3(:));
[pks_aRE3,locs_aRE3,w_aRE3] = findpeaks(aluminio_RE3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 40, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs, aluminio_RE3_smooth, locs_aRE3, pks_aRE3, 'o');
grid;
laton_RE3_smooth = smooth(laton_RE3(:));
[pks_lRE3,locs_lRE3,w_lRE3] = findpeaks(laton_RE3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 40, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs, laton_RE3_smooth, locs_lRE3, pks_lRE3, 'o');
grid;

% MI3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name", "MI3");
PLA_MI3_smooth = smooth(PLA_MI3(:));
[pks_pMI3,locs_pMI3,w_pMI3] = findpeaks(PLA_MI3_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 35, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs_PLA, PLA_MI3_smooth, locs_pMI3, pks_pMI3, 'o');
hold on;
nailon_MI3_smooth = smooth(nailon_MI3(:));
[pks_nMI3,locs_nMI3,w_nMI3] = findpeaks(nailon_MI3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 35, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs, nailon_MI3_smooth, locs_nMI3, pks_nMI3, 'o');
grid;
aluminio_MI3_smooth = smooth(aluminio_MI3(:));
[pks_aMI3,locs_aMI3,w_aMI3] = findpeaks(aluminio_MI3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 35, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs, aluminio_MI3_smooth, locs_aMI3, pks_aMI3, 'o');
grid;
laton_MI3_smooth = smooth(laton_MI3(:));
[pks_lMI3,locs_lMI3,w_lMI3] = findpeaks(laton_MI3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 35, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs, laton_MI3_smooth, locs_lMI3, pks_lMI3, 'o');
grid;

% FA3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name", "FA3");
PLA_FA3_smooth = smooth(PLA_FA3(:));
[pks_pFA3,locs_pFA3,w_pFA3] = findpeaks(PLA_FA3_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 35, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs_PLA, PLA_FA3_smooth, locs_pFA3, pks_pFA3, 'o');
hold on;
nailon_FA3_smooth = smooth(nailon_FA3(:));
[pks_nFA3,locs_nFA3,w_nFA3] = findpeaks(nailon_FA3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight', 'MinPeakProminence', 35, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom');
plot (freqs, nailon_FA3_smooth, locs_nFA3, pks_nFA3, 'o');
```

```
grid;
aluminio_FA3_smooth = smooth(aluminio_FA3(:));
[pk_s_aFA3,locs_aFA3,w_aFA3] = findpeaks(aluminio_FA3_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_FA3_smooth, locs_aFA3, pk_s_aFA3, 'o');
grid;
laton_FA3_smooth = smooth(laton_FA3(:));
[pk_s_lFA3,locs_lFA3,w_lFA3] = findpeaks(laton_FA3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_FA3_smooth, locs_lFA3, pk_s_lFA3, 'o');
grid;

% SOL3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name","SOL3");
PLA_SOL3_smooth = smooth(PLA_SOL3(:));
[pk_s_pSOL3,locs_pSOL3,w_pSOL3] = findpeaks(PLA_SOL3_smooth, freqs_PLA,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs_PLA, PLA_SOL3_smooth, locs_pSOL3, pk_s_pSOL3, 'o');
hold on;
nailon_SOL3_smooth = smooth(nailon_SOL3(:));
[pk_s_nSOL3,locs_nSOL3,w_nSOL3] = findpeaks(nailon_SOL3_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, nailon_SOL3_smooth, locs_nSOL3, pk_s_nSOL3, 'o');
grid;
aluminio_SOL3_smooth = smooth(aluminio_SOL3(:));
[pk_s_aSOL3,locs_aSOL3,w_aSOL3] = findpeaks(aluminio_SOL3_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_SOL3_smooth, locs_aSOL3, pk_s_aSOL3, 'o');
grid;
laton_SOL3_smooth = smooth(laton_SOL3(:));
[pk_s_lSOL3,locs_lSOL3,w_lSOL3] = findpeaks(laton_SOL3_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_SOL3_smooth, locs_lSOL3, pk_s_lSOL3, 'o');
grid;

% LA3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name","LA3");
PLA_LA3_smooth = smooth(PLA_LA3(:));
[pk_s_pLA3,locs_pLA3,w_pLA3] = findpeaks(PLA_LA3_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight',
35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs_PLA, PLA_LA3_smooth, locs_pLA3, pk_s_pLA3, 'o');
hold on;
nailon_LA3_smooth = smooth(nailon_LA3(:));
[pk_s_nLA3,locs_nLA3,w_nLA3] = findpeaks(nailon_LA3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, nailon_LA3_smooth, locs_nLA3, pk_s_nLA3, 'o');
```

```
grid;
aluminio_LA3_smooth = smooth(aluminio_LA3(:));
[pkgs_aLA3,locs_aLA3,w_aLA3] = findpeaks(aluminio_LA3_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_LA3_smooth, locs_aLA3, pkgs_aLA3, 'o');
grid;
laton_LA3_smooth = smooth(laton_LA3(:));
[pkgs_lLA3,locs_lLA3,w_lLA3] = findpeaks(laton_LA3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_LA3_smooth, locs_lLA3, pkgs_lLA3, 'o');
grid;

% SI3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name","SI3");
PLA_SI3_smooth = smooth(PLA_SI3(:));
[pkgs_pSI3,locs_pSI3,w_pSI3] = findpeaks(PLA_SI3_smooth, freqs_PLA, 'MinPeakHeight',
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs_PLA, PLA_SI3_smooth, locs_pSI3, pkgs_pSI3, 'o');
hold on;
nailon_SI3_smooth = smooth(nailon_SI3(:));
[pkgs_nSI3,locs_nSI3,w_nSI3] = findpeaks(nailon_SI3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, nailon_SI3_smooth, locs_nSI3, pkgs_nSI3, 'o');
grid;
aluminio_SI3_smooth = smooth(aluminio_SI3(:));
[pkgs_aSI3,locs_aSI3,w_aSI3] = findpeaks(aluminio_SI3_smooth, freqs,
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, aluminio_SI3_smooth, locs_aSI3, pkgs_aSI3, 'o');
grid;
laton_SI3_smooth = smooth(laton_SI3(:));
[pkgs_lSI3,locs_lSI3,w_lSI3] = findpeaks(laton_SI3_smooth, freqs, 'MinPeakHeight',
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqs, laton_SI3_smooth, locs_lSI3, pkgs_lSI3, 'o');
grid;

% DO4
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name","DO4");
PLA_DO4_smooth = smooth(PLA_DO4(:));
[pkgs_pDO4,locs_pDO4,w_pDO4] = findpeaks(PLA_DO4_smooth, freqagud, 'MinPeakHeight',
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, PLA_DO4_smooth, locs_pDO4, pkgs_pDO4, 'o');
hold on;
nailon_DO4_smooth = smooth(nailon_DO4(:));
[pkgs_nDO4,locs_nDO4,w_nDO4] = findpeaks(nailon_DO4_smooth, freqagud,
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, nailon_DO4_smooth, locs_nDO4, pkgs_nDO4, 'o');
grid;
aluminio_DO4_smooth = smooth(aluminio_DO4(:));
```



```
[pks_aDO4,locs_aDO4,w_aDO4] = findpeaks(aluminio_DO4_smooth, freqagud, ↵
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, aluminio_DO4_smooth, locs_aDO4, pks_aDO4, 'o');
grid;
laton_DO4_smooth = smooth(laton_DO4(:));
[pks_lDO4,locs_lDO4,w_lDO4] = findpeaks(laton_DO4_smooth, freqagud, ↵
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, laton_DO4_smooth, locs_lDO4, pks_lDO4, 'o');
grid;

% RE4
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name", "RE4");
PLA_RE4_smooth = smooth(PLA_RE4(:));
[pks_pRE4,locs_pRE4,w_pRE4] = findpeaks(PLA_RE4_smooth, freqagud, 'MinPeakHeight', ↵
35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, PLA_RE4_smooth, locs_pRE4, pks_pRE4, 'o');
hold on;
nailon_RE4_smooth = smooth(nailon_RE4(:));
[pks_nRE4,locs_nRE4,w_nRE4] = findpeaks(nailon_RE4_smooth, freqagud, ↵
'MinPeakHeight', 35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, nailon_RE4_smooth, locs_nRE4, pks_nRE4, 'o');
grid;
aluminio_RE4_smooth = smooth(aluminio_RE4(:));
[pks_aRE4,locs_aRE4,w_aRE4] = findpeaks(aluminio_RE4_smooth, freqagud, ↵
'MinPeakHeight', 35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, aluminio_RE4_smooth, locs_aRE4, pks_aRE4, 'o');
grid;
laton_RE4_smooth = smooth(laton_RE4(:));
[pks_lRE4,locs_lRE4,w_lRE4] = findpeaks(laton_RE4_smooth, freqagud, ↵
'MinPeakHeight', 35, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, laton_RE4_smooth, locs_lRE4, pks_lRE4, 'o');
grid;

% MI4
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name", "MI4");
PLA_MI4_smooth = smooth(PLA_MI4(:));
[pks_pMI4,locs_pMI4,w_pMI4] = findpeaks(PLA_MI4_smooth, freqagud, 'MinPeakHeight', ↵
45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, PLA_MI4_smooth, locs_pMI4, pks_pMI4, 'o');
hold on;
nailon_MI4_smooth = smooth(nailon_MI4(:));
[pks_nMI4,locs_nMI4,w_nMI4] = findpeaks(nailon_MI4_smooth, freqagud, ↵
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', ↵
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, nailon_MI4_smooth, locs_nMI4, pks_nMI4, 'o');
```

```
grid;
aluminio_MI4_smooth = smooth(aluminio_MI4(:));
[pks_aMI4,locs_aMI4,w_aMI4] = findpeaks(aluminio_MI4_smooth, freqagud,
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, aluminio_MI4_smooth, locs_aMI4, pks_aMI4, 'o');
grid;
laton_MI4_smooth = smooth(laton_MI4(:));
[pks_lMI4,locs_lMI4,w_lMI4] = findpeaks(laton_MI4_smooth, freqagud,
'MinPeakHeight', 45, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, laton_MI4_smooth, locs_lMI4, pks_lMI4, 'o');
grid;

% FA4
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure("Name","FA4");
PLA_FA4_smooth = smooth(PLA_FA4(:));
[pks_pFA4,locs_pFA4,w_pFA4] = findpeaks(PLA_FA4_smooth, freqagud, 'MinPeakHeight',
40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents', 'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, PLA_FA4_smooth, locs_pFA4, pks_pFA4, 'o');
hold on;
nailon_FA4_smooth = smooth(nailon_FA4(:));
[pks_nFA4,locs_nFA4,w_nFA4] = findpeaks(nailon_FA4_smooth, freqagud,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, nailon_FA4_smooth, locs_nFA4, pks_nFA4, 'o');
grid;
aluminio_FA4_smooth = smooth(aluminio_FA4(:));
[pks_aFA4,locs_aFA4,w_aFA4] = findpeaks(aluminio_FA4_smooth, freqagud,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, aluminio_FA4_smooth, locs_aFA4, pks_aFA4, 'o');
grid;
laton_FA4_smooth = smooth(laton_FA4(:));
[pks_lFA4,locs_lFA4,w_lFA4] = findpeaks(laton_FA4_smooth, freqagud,
'MinPeakHeight', 40, 'MinPeakProminence',10, 'Annotate', 'extents',
'WidthReference', 'halfprom')
plot (freqagud, laton_FA4_smooth, locs_lFA4, pks_lFA4, 'o');
grid;
```


Intensidad de los picos

NORMALIZADO A 50 dB

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
FA2	36,002	43,494	42,726	40,514
	46,534	52,25	51,386	50,008
	45,094	48,088	44,684	46,628
	45,698	50,826	51,33	49,994
	54,06	60,014	61,898	59,942
	54,962	61,906	59,44	59,13
	51,104	57,856	55,738	55,61
	48,462	55,368	56,892	54,468
	49,992	53,714	57,684	55,784
	49,782	57,258	55,844	49,856
	42,952	54,824	51,794	47,168

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
FA2	50,0	50,0	50,0	50,0
	60,5	58,8	58,7	59,5
	59,1	54,6	52,0	56,1
	59,7	57,3	58,6	59,5
	68,1	66,5	69,2	69,4
	69,0	68,4	66,7	68,6
	65,1	64,4	63,0	65,1
	62,5	61,9	64,2	64,0
	64,0	60,2	65,0	65,3
	63,8	63,8	63,1	59,3
	57,0	61,3	59,1	56,7

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
SOL2	45,8	45,98	44,376	42,206
	57,362	56,65	56,856	52,608
	41,034	44,364	41,218	41,782
	56,98	61,868	55,212	56,306
	60,19	64,462	62,358	62,432
	58,866	62,794	61,434	58,028
	53,212	62,788	58,126	57,144
	46,944	62,448	58,07	59,562
	53,512	62,092	57,376	58,364
	50,378	60,732	54,262	54,43

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
SOL2	50,0	50,0	50,0	50,0
	71,4	63,2	64,1	62,1
	55,0	50,9	48,5	51,3
	71,0	68,4	62,5	65,8
	74,2	71,0	69,6	71,9
	72,9	69,3	68,7	67,5
	67,2	69,3	65,4	66,6
	60,9	69,0	65,3	69,0
	67,5	68,6	64,7	67,9
	64,4	67,2	61,5	63,9

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
LA2	47,244	48,442	48,97	49,512
	57,326	56,1	58,55	59,238
	49,978	48,98	50,704	51,604
	62,226	64,13	64,592	61,558
	63,708	63,942	63,304	62,042
	56,64	59,158	52,838	59,558
	57,318	62,09	60,162	58,438
	60,962	62,976	53,29	58,568

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
LA2	50,0	50,0	50,0	50,0
	71,3	62,6	65,8	68,7
	64,0	55,5	58,0	61,1
	76,2	70,6	71,9	71,0
	77,7	70,4	70,6	71,5
	70,6	65,7	60,1	69,0
	71,3	68,6	67,4	67,9
	75,0	69,5	60,6	68,1

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
MI3	55,862	55,594	57,122	55,458
	53,958	53,924	54,848	52,558
	68,39	68,562	70,034	67,966
	59,664	65,702	63,406	56,794
	62,914	69,204	61,548	59,996
	62,112	66,984	61,054	58,51

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
MI3	50,0	50,0	50,0	50,0
	68,0	60,4	62,1	62,0
	82,4	75,1	77,3	77,5
	73,7	72,2	70,7	66,3
	76,9	75,7	68,8	69,5
	76,1	73,5	68,3	68,0

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
FA3	56,94	59,058	52,598	56,498
	60,044	59,836	52,74	56,182
	69,526	70,598	64,622	65,926
	65,216	65,646	63,5	61,322
	68,79	67,818	66,148	64,962

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
FA3	50,0	50,0	50,0	50,0
	74,0	66,3	60,0	65,7
	83,5	77,1	71,9	75,4
	79,2	72,2	70,8	70,8
	82,8	74,3	73,4	74,4

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
SOL3	57,768	58,508	62,3	61,634
	62,726	64,564	63,6	58,528
	64,72	64,214	68,432	70,746
	62,178	66,956	66,86	59,266
	62,7	64,962	61	61,094

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
SOL3	50,0	50,0	50,0	50,0
	76,7	71,1	70,9	68,0
	78,7	70,7	75,7	80,2
	76,2	73,5	74,1	68,8
	76,7	71,5	68,3	70,6

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
RE4	55,57	54,8	59,296	54,86
	70,808	69,418	70,212	71,582
	67,134	66,474	67,252	72,424
	58,092	56,324	62,39	63,774

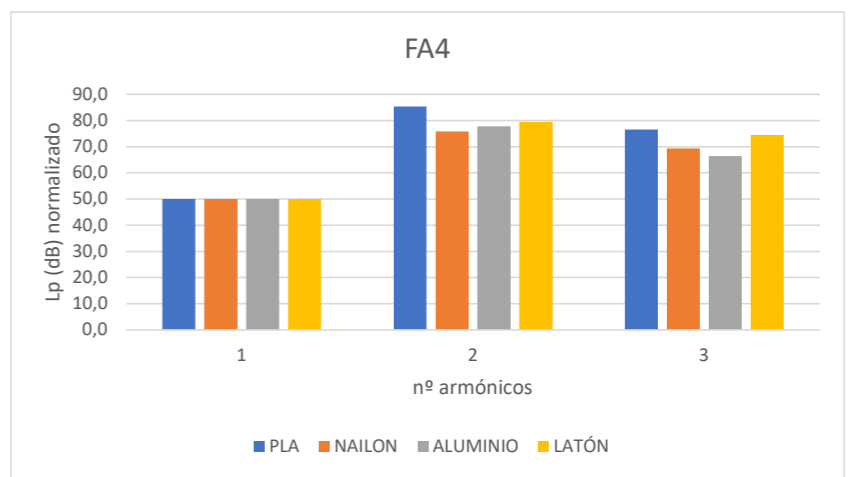
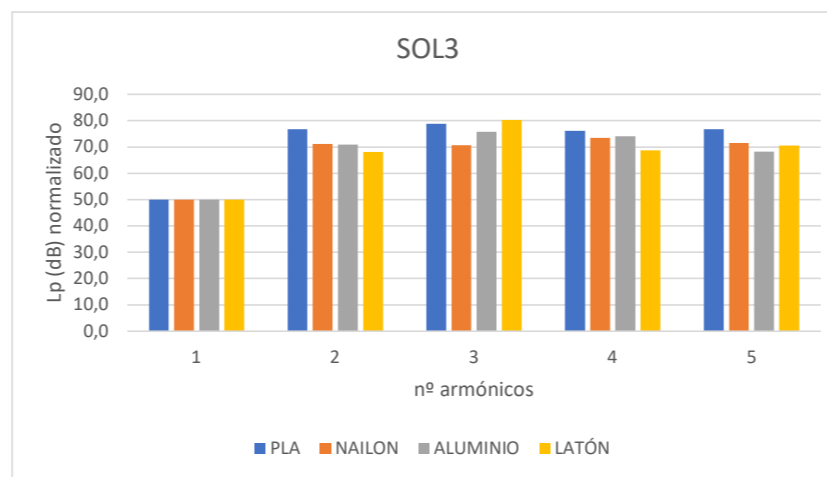
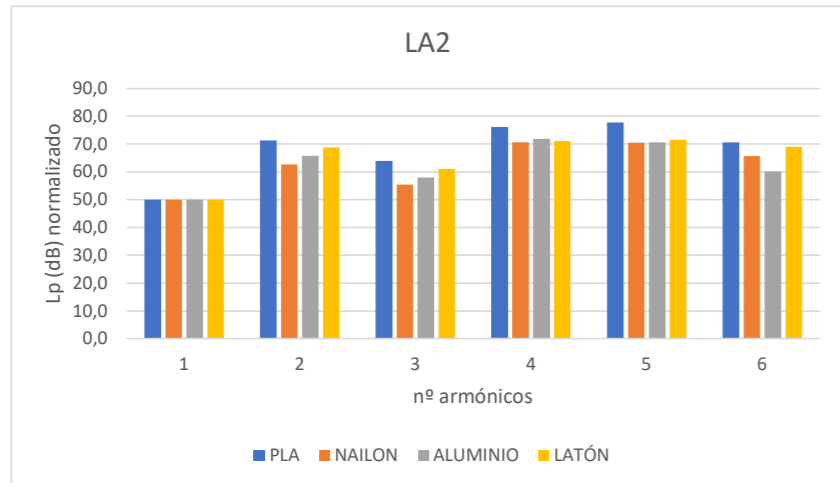
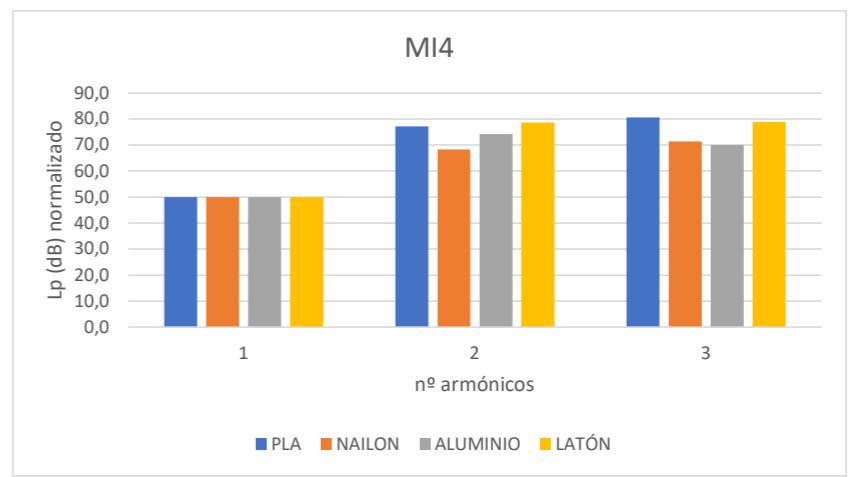
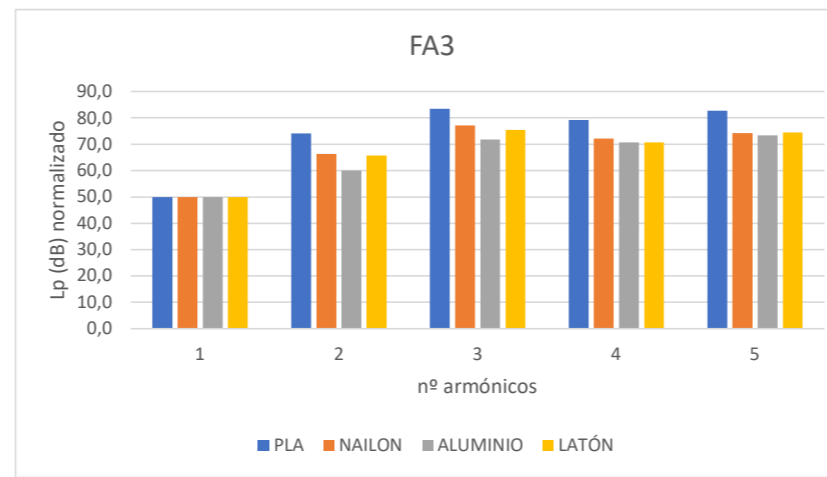
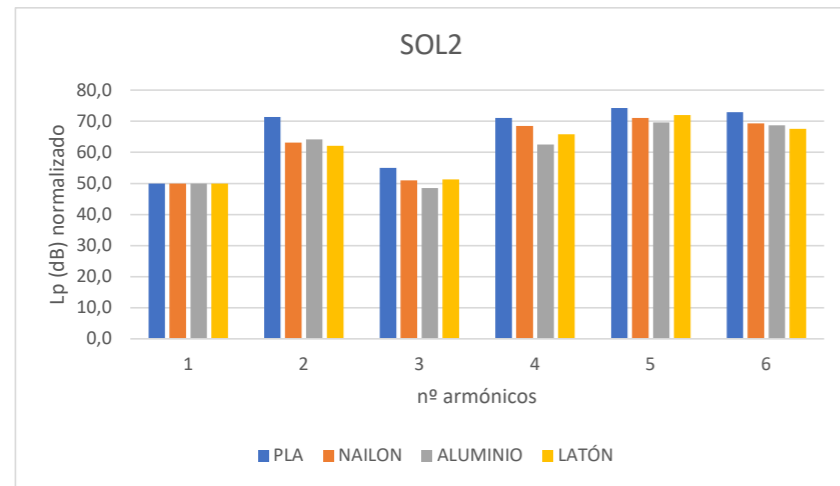
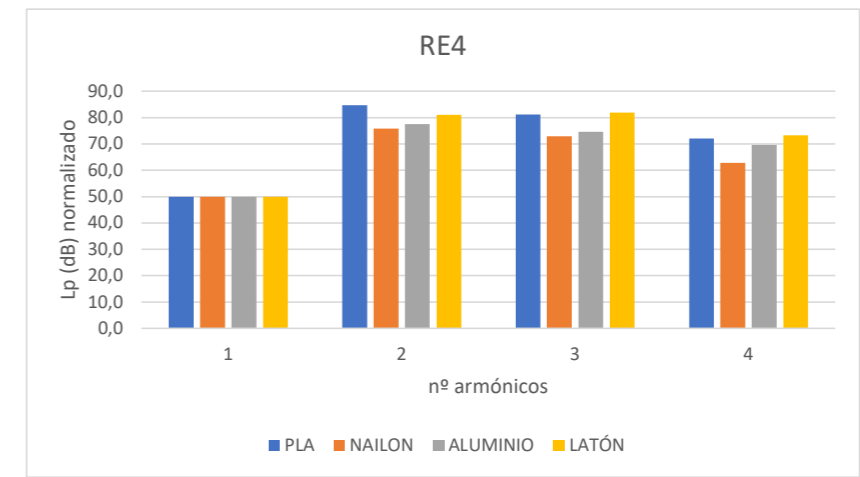
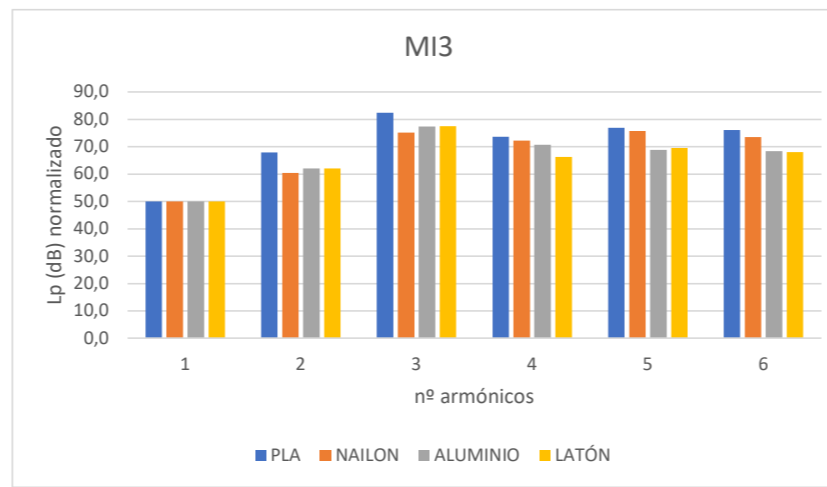
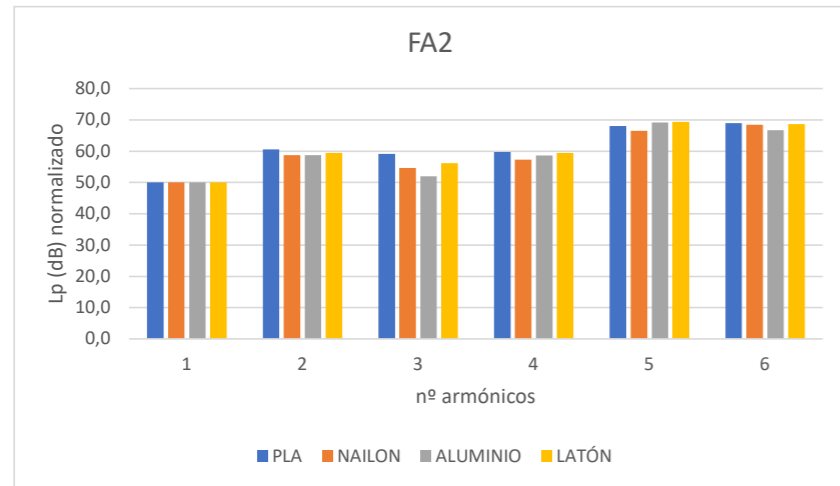
Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
RE4	50,0	50,0	50,0	50,0
	84,8	75,9	77,5	81,1
	81,1	73,0	74,5	81,9
	72,1	62,8	69,7	73,3

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
MI4	56,436	53,518	60,39	60,494
	63,246	61,852	66,992	69,136
	66,628	64,872	62,732	69,466

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
MI4	50,0	50,0	50,0	50,0
	77,2	68,4	74,3	78,6
	80,6	71,4	70,0	79,0

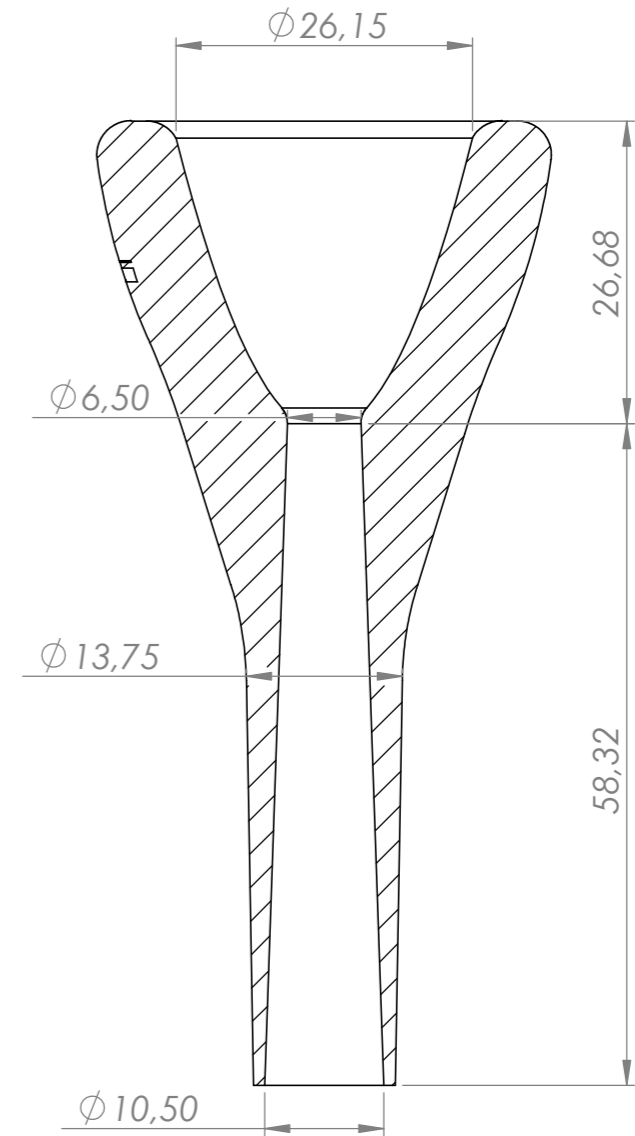
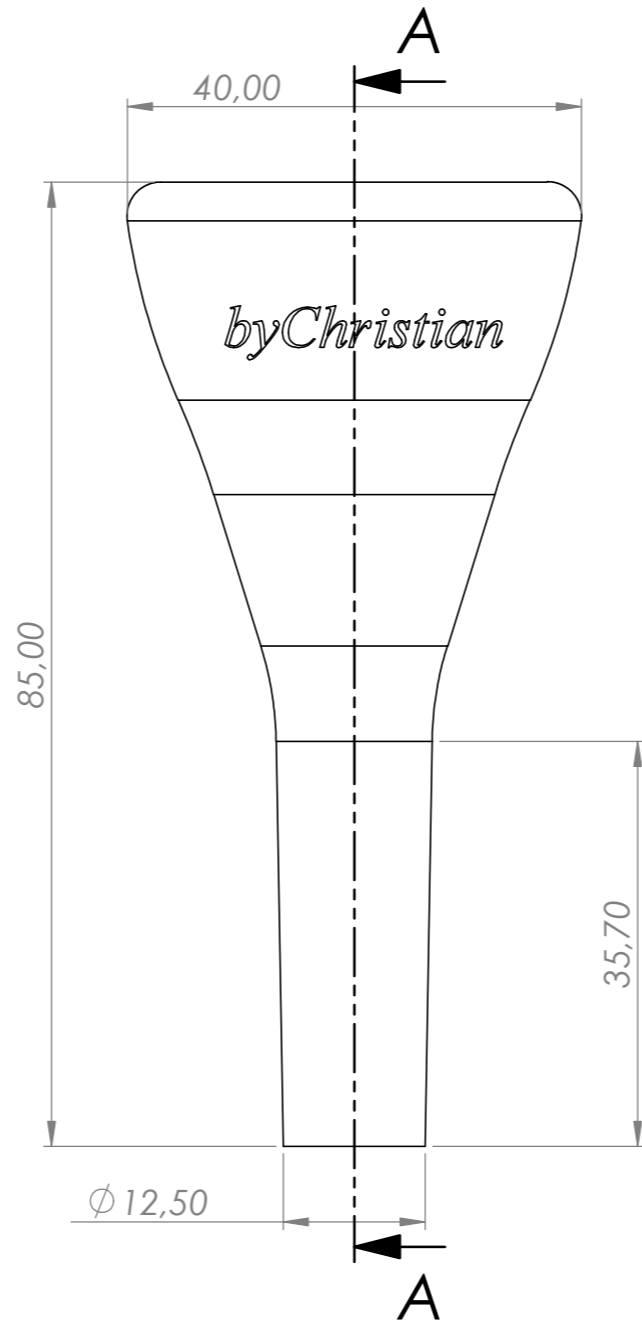
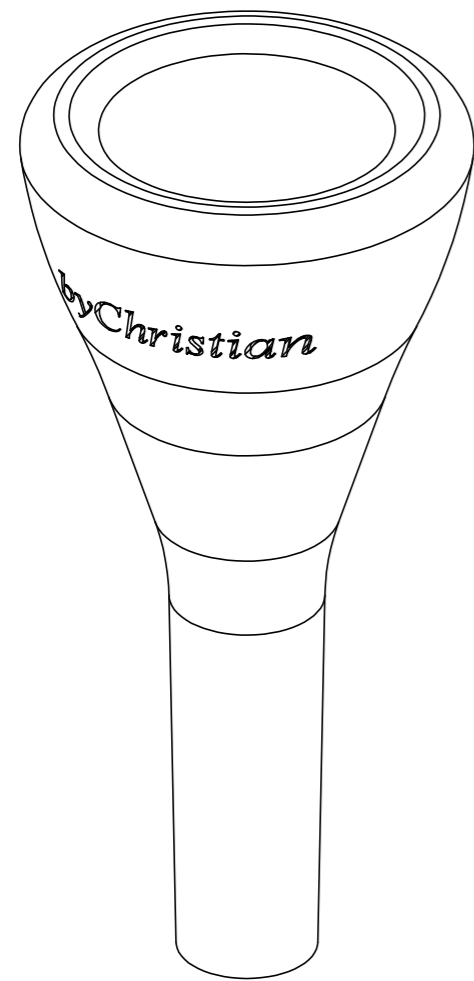
Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
FA4	63,842	65,132	64,092	64,48
	71,332	69,208	70,504	70,056
	62,578	62,85	59,128	64,978

Nota	MATERIAL			
	PLA	NAILON	ALUMINIO	LATÓN
FA4	50,0	50,0	50,0	50,0
	85,3	75,7	77,8	79,5
	76,6	69,4	66,4	74,5



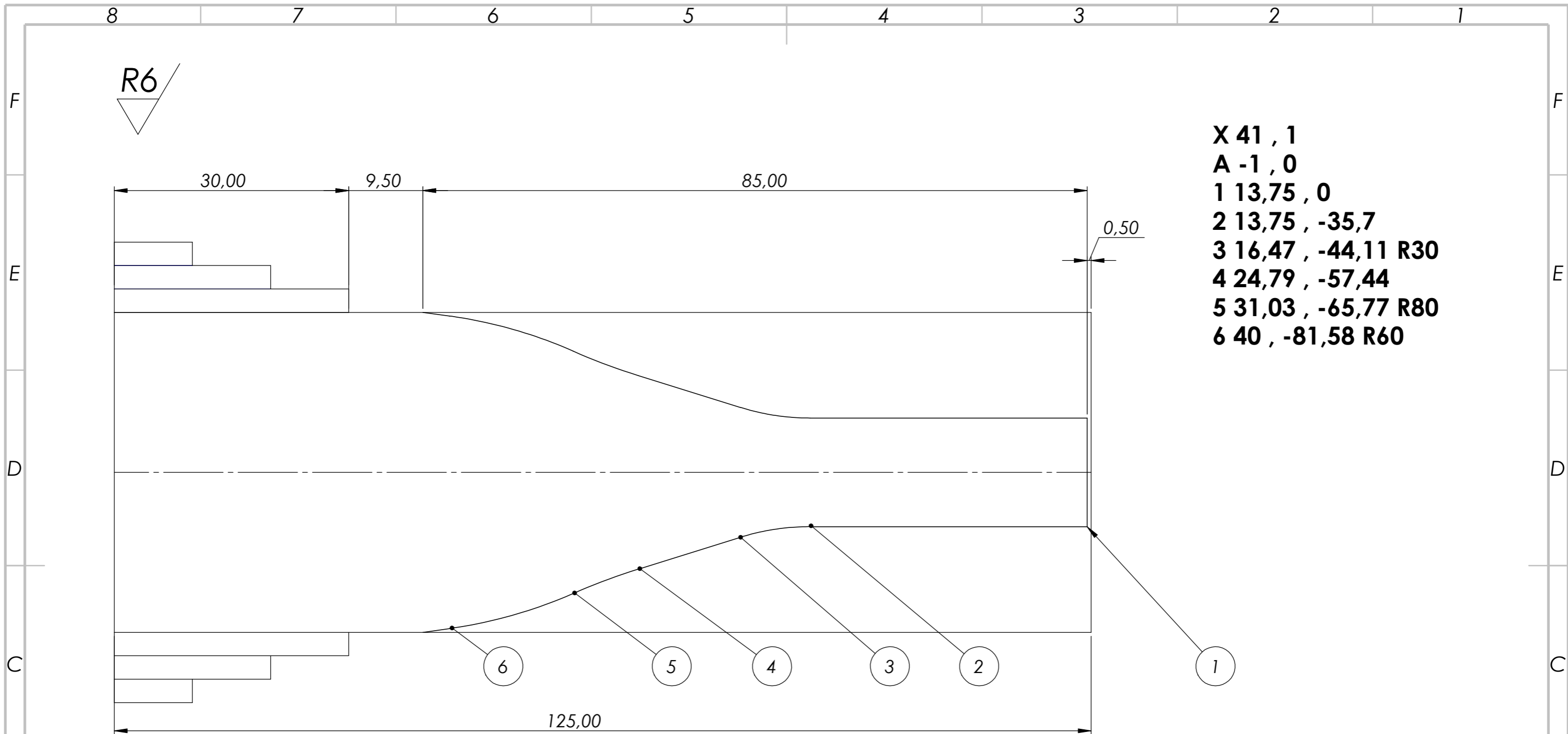
PLANOS

N6



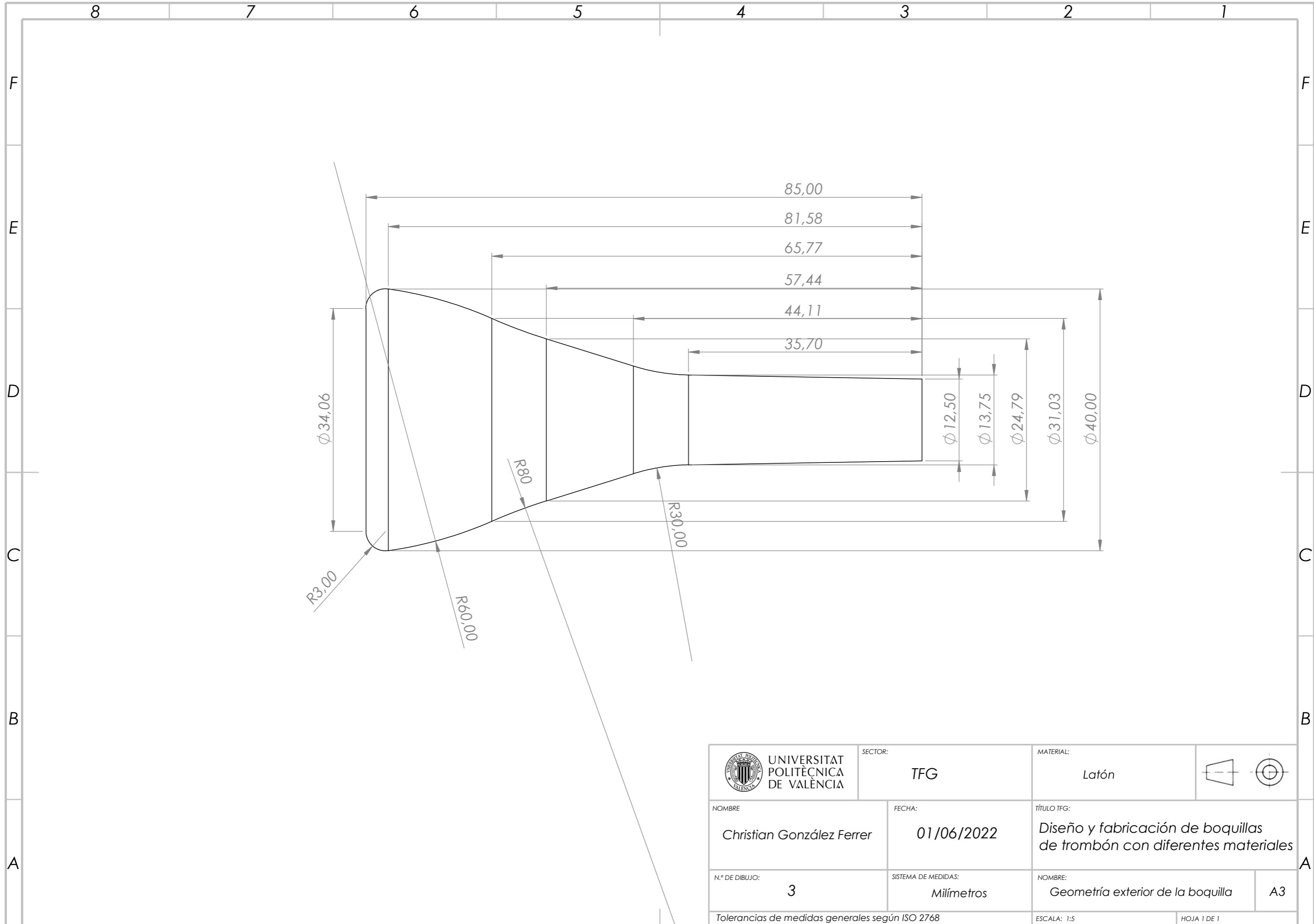
SECCIÓN A-A
ESCALA 1.5 : 1

	SECTOR:	TFG	MATERIAL:	Latón	
	NOMBRE:	Christian González Ferrer		FECHA:	
TÍTULO TFG:		Diseño y fabricación de boquillas de trombón con diferentes materiales			
N.º DE DIBUJO:	1	SISTEMA DE MEDIDAS:	Milímetros	NOMBRE:	Boquilla de trombón
Tolerancias de medidas generales según ISO 2768				ESCALA: 1.5:1	HOJA 1 DE 1

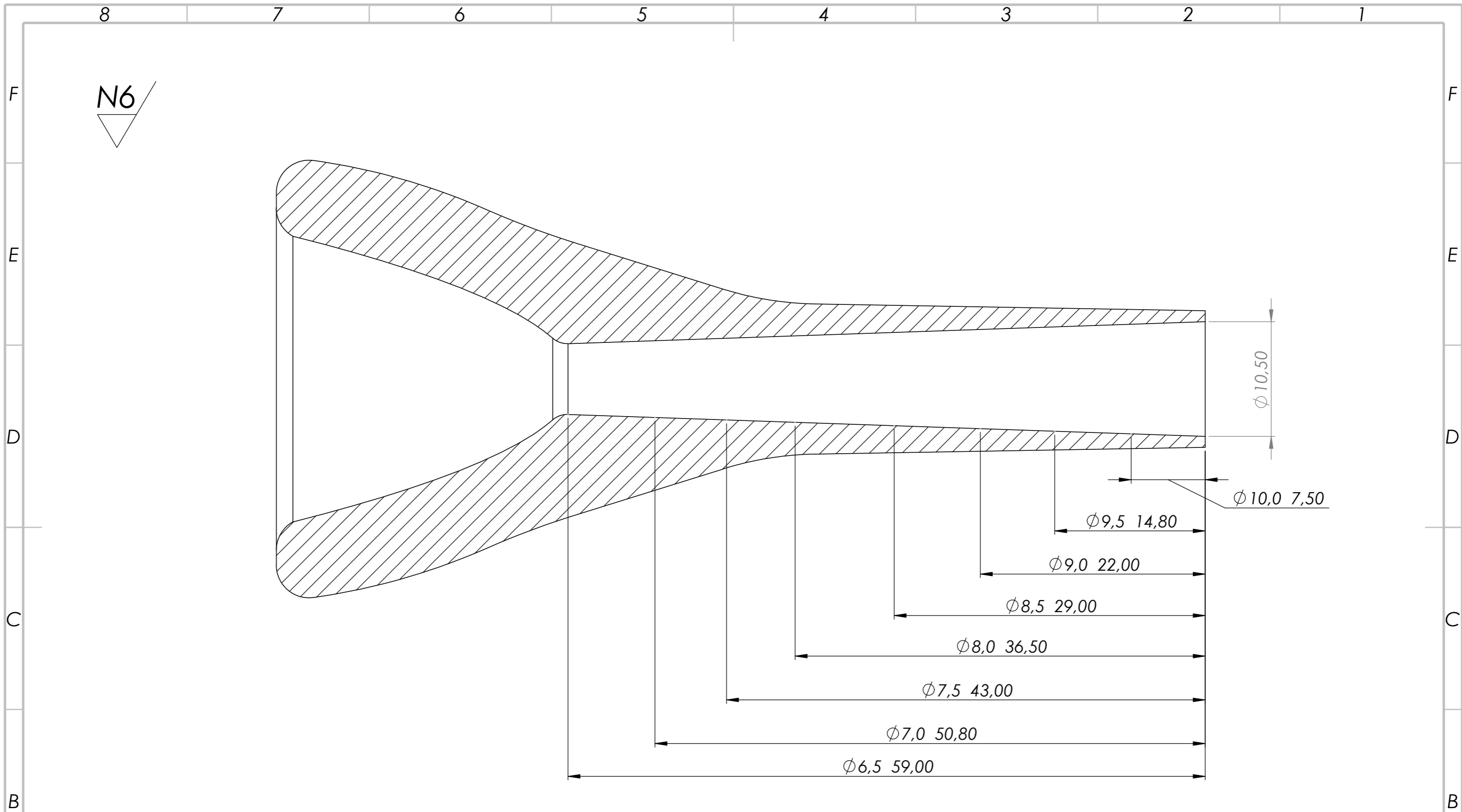


NOTA:
 En línea discontinua: Eje de revolución
 En línea suave: Material a eliminar
 En línea oscura: Geometría tras el mecanizado

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	SECTOR:	TFG	MATERIAL:	Latón			
	NOMBRE:	Christian González Ferrer		FECHA:		01/06/2022	
TÍTULO TFG:		Diseño y fabricación de boquillas de trombón con diferentes materiales					
N.º DE DIBUJO:	2	SISTEMA DE MEDIDAS:	Milímetros		NOMBRE:	Plano de fabricación para torno CNC	A3
Tolerancias de medidas generales según ISO 2768				ESCALA: 2:1	HOJA 1 DE 1		



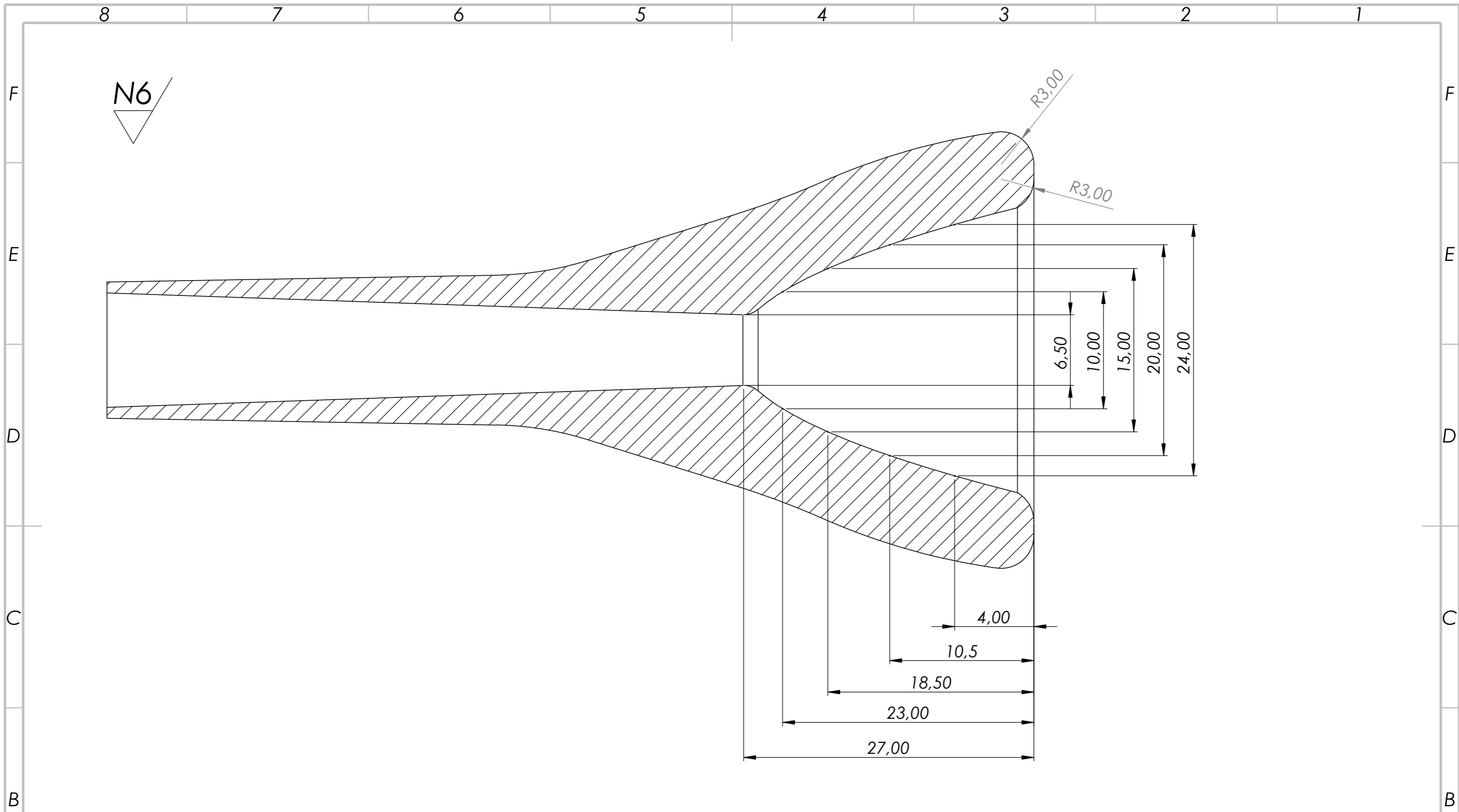
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	SECTOR:	TFG	MATERIAL:	Latón	
	NOMBRE:	Christian González Ferrer		FECHA:	
TÍTULO TFG:		Diseño y fabricación de boquillas de trombón con diferentes materiales			
N.º DE DIBUJO:	3	SISTEMA DE MEDIDAS:	Milímetros		NOMBRE:
Tolerancias de medidas generales según ISO 2768		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	
				NOMBRE:	
				Geometría exterior de la boquilla	
				A3	



N6

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	SECTOR:	TFG	MATERIAL:	Latón			
	NOMBRE:	Christian González Ferrer		FECHA:		01/06/2022	
TÍTULO TFG:		Diseño y fabricación de boquillas de trombón con diferentes materiales					
N.º DE DIBUJO:	5	SISTEMA DE MEDIDAS:	Milímetros		NOMBRE:	Plano fabricación del interior del tudel	A3
Tolerancias de medidas generales según ISO 2768				ESCALA:	3:1	HOJA 1 DE 1	

Métrica de la broca y profundidad para cada escalonamiento



Cotas de taladrado y profundidaad de este mecanizado
 La última profundidad pertenece a la broca modificada

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	SECTOR:	TFG	MATERIAL:	Latón			
	NOMBRE:	Christian González Ferrer		FECHA:		01/06/2022	
TÍTULO TFG:		Diseño y fabricación de boquillas de trombón con diferentes materiales					
N.º DE DIBUJO:	4	SISTEMA DE MEDIDAS:	Milímetros		NOMBRE:	Plano de fabricación de la copa	A3
Tolerancias de medidas generales según ISO 2768				ESCALA: 3:1	HOJA 1 DE 1		

Pliego de condiciones

1.	Descripción del producto final y maquinaria a emplear.....	2
1.1.	La boquilla	2
1.2.	Los tornos.....	2
2.	Materiales	3
3.	Recomendaciones para el uso de la maquinaria	4
3.1.	Colocación del tornero, indumentaria, gafas.....	4
3.2.	Procedimiento de trabajo: control antes del torneado	4
3.3.	Montaje y desmontaje de mandriles	5
3.4.	Formación y eliminación de virutas	5
4.	Proceso de fabricación	6
5.	Presupuesto	8

1. Descripción del producto final y maquinaria a emplear

1.1. La boquilla

Una boquilla de un instrumento musical es la parte fundamental de este, es por donde empieza a crearse el sonido y es por esto por lo que una mínima alteración en el aire al pasar por la boquilla se acentúa de forma considerable al final del trayecto de este, a la salida del instrumento, lo que conocemos como el sonido del instrumento.

En este proyecto se ha centrado en la fabricación de boquillas de trombón de tudel ancho, se trata generalmente de una pieza de latón recubierta con una capa de plata. Siempre con una estructura interna maciza, pues se parte de un tocho de metal y solamente es mecanizado en un torno.



Figura 1 Resultado del proceso de fabricación

1.2. Los tornos

Durante el proyecto se ha utilizado tanto un torno de control numérico como manual.

El torno CNC se refiere a la máquina que se utiliza para mecanizar piezas de revolución mediante un software de computadora que utiliza datos alfa-numéricos, siguiendo los ejes cartesianos X, Y. Se suele usar para producir en cantidades y con precisión.

Por otra parte, el torno manual se considera a un conjunto de máquinas y herramientas que permiten mecanizar piezas de revolución. Esta máquina necesita de un operario especializado que la controle.



Figura 2 Tornos manuales

2. Materiales

Como este proyecto tenía como uno de los objetivos comparar materiales, el único factor restrictivo de este apartado han sido las características necesarias que necesita el material para poder estar en contacto con la saliva de los músicos y que sea un material ligeramente liviano, marcando como máximo el material con el que se fabrican habitualmente las boquillas, el latón.

3. Recomendaciones para el uso de la maquinaria

3.1. Colocación del tornero, indumentaria, gafas

- Las manos deben estar apoyadas sobre los volantes del torno, no debiendo apoyarlas nunca sobre la bancada, el carro, el contrapunto, el mandril o la pieza que se está trabajando.
- Las ropas deben estar bien ajustadas cerradas por botones o cremalleras hasta el cuello, sin bolsillos en el pecho y sin cinturón. Las mangas deben ceñirse a las muñecas o bien estar remangadas.
- Se prohíbe llevar relojes, anillos, pulseras, cadenas, bufandas, etc., al trabajar con el torno.
- Las inmediaciones del torno deberán estar limpias y libres de obstáculos. Se deberán retirar las virutas con regularidad (no esperar al fin de jornada) y eliminar las manchas de aceite utilizando serrín. Los objetos caídos pueden provocar tropezones peligrosos, por lo que deberán ser recogidos antes de que esto suceda.
- Las herramientas deberán guardarse en un armario adecuado. No se deberá dejar ninguna herramienta sobre el torno, detrás de él, sobre la cubierta o en lugares similares.
- Es obligatorio el uso de gafas de protección.

3.2. Procedimiento de trabajo: control antes del torneado

- Verificar que:
 - El plato y su seguro contra el aflojamiento están correctamente colocados.
 - La pieza a tornear está correcta y firmemente sujeta y que en su movimiento no encontrará obstáculos.
 - Se ha retirado del plato la llave del apriete.
 - Están firmemente apretados los tornillos de sujeción del portaherramientas.
 - La palanca de bloqueo del portaherramientas está bien apretada.
 - Las carcasas de protección o resguardos de los engranajes y transmisiones están correctamente colocados y fijados.
 - No hay ninguna pieza o herramienta abandonada sobre el torno, que pueda caer o salir despedida.
 - La cubierta de protección del plato está correctamente colocada.
 - La pantalla transparente de protección contra proyecciones de virutas se encuentra bien situada.
- Si se usa contrapunto, comprobar que esté bien anclado a la bancada y que la palanca de bloqueo del husillo del contrapunto está bien apretada.
- Si se va a trabajar sobre barras largas que sobresalen por la parte trasera del cabezal, comprobar que la barra está cubierta por una protección-guía, en toda su longitud.

3.3. Montaje y desmontaje de mandriles

Los mandriles sujetos a rosca se pueden quitar sin peligro con el siguiente método:

Colóquese en posición vertical sobre la bancada del torno y debajo de una de las garras o mordazas un trozo de madera, a continuación, se da marcha atrás lentamente. Para aflojar los mandriles y platos se debe usar un barrar especial cuyos pivotes han de corresponder exactamente con las aberturas con el fin de que no se salga con facilidad.

·Torneado con mandriles: Estos deben estar protegidos con una cubierta que impida el enganche de ropas y proyección de partículas y de líquido refrigerante. No se debe nunca frenar los mandriles con la mano. O se debe llevar sortijas o alianzas.

·Torneado entre puntos: Se deberán utilizar dispositivos de arrastre de seguridad. En su defecto, se equiparán los dispositivos de arrastre corrientes con un arco de seguridad

3.4. Formación y eliminación de virutas

Para quitar las virutas es preciso utilizar ganchos provistos de una cazoleta que proteja la mano. Quien utilice las manos o herramientas no adecuadas para efectuar esta operación se expone a lesiones graves. Las cuchillas con rompevirutas impiden la formación de virutas largas y peligrosas y facilitan el trabajo de retirarlas. La operación de retirar las virutas se debe hacer con un rastrillo o cepillo.

·Trabajos con tela de esmeril: No aplicar a la parte superior de la pieza más que un trozo muy corto de la tela de esmeril, con el fin de que no pueda enrollarse y aprisionar el dedo contra la pieza. Para pulir los diferentes rebajes de una pieza se debe utilizar una tablilla cubierta con la tela de esmeril. Es muy peligroso introducir la tela de esmeril con un dedo para pulir las partes interiores de una pieza. Lo seguro es enrollar la tela a un palo cilíndrico.

·Limado y rectificado: Se debe limar siempre hacia la izquierda. Para limar o medir, la cuchilla deberá protegerse con un trapo, un capuchón, soltarse del portaherramientas o retirar la torreta.

·Parada del torno: El torno deberá detenerse siempre para:

- Sujetar la pieza
- Cambiar la herramienta.
- Medir.
- Comprobar el acabado.
- Limpiar
- Reparar.
- Situar o dirigir el líquido refrigerante.

4. Proceso de fabricación

En este apartado se va a describir brevemente el proceso de fabricación seguido en este proyecto.

- ❖ Corte del tocho de material necesario para conseguir el producto final.
- ❖ Programación de un código de control numérico para conseguir parte de la geometría externa de la boquilla.

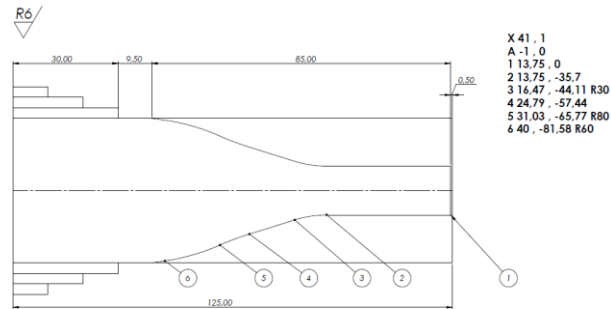


Figura 3 Plano fabricación con control numérico

- ❖ Mecanizado en el torno CNC del contorno.
- ❖ En el torno manual, mecanizado del interior del tudel, taladrando de forma progresiva, y finalmente con una lima se consigue una superficie lineal.

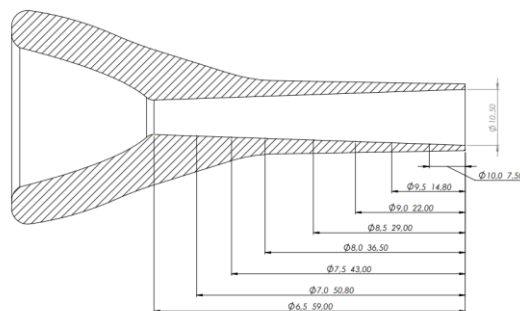


Figura 4 Plano fabricación del interior del tudel

- ❖ En el mismo torno, se realiza el mismo proceso de taladrado progresivo para la copa, finalmente con la broca modificada se consigue la geometría deseada.

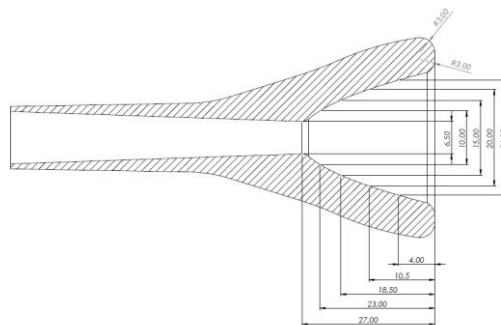


Figura 5 Plano fabricación del interior de la copa

- ❖ Se realiza un chaflán y un posterior lijada del borde para conseguir un borde redondeado.
- ❖ Por último, la conicidad del exterior del tudel se consigue, en el otro torno manual, configurando la herramienta con la inclinación diseñada.

Los procesos de fabricación que se han comentado en este capítulo están más detallados en la memoria del proyecto, donde se puede consultar información relativa a la configuración del torno y los detalles explicados de cada uno de los pasos anteriores.

5. Presupuesto

Se ha elaborado un presupuesto para la fabricación de 200 boquillas de cada material. En total, un volumen de 800 boquillas.

Presupuesto de ejecución material

1. Materiales de fabricación	12.634,25
2. Ingenieros y oficiales	36.280,00
3. Estudio sonoro de las boquillas	1.400,00
4. Proceso de distribución del producto	5.600,00
5. Maquinas utilizadas en el proceso	20.475,99
6. Beneficio industrial y costes indirectos	13.375,94
Total:	89.766,18

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de OCHENTA Y NUEVE MIL SETECIENTOS SESENTA Y SEIS EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.

Xeraco
Ingeniero Mecánico

Christian

Figura 6 Extracto final del presupuesto

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Medición

Comentario	P.ig.	Longitud	Anchura	Altura	Subtotal	Total
1.1 1.PLA	1	Bobina de filamento de PLA para impresión 3D				
					Total 1.....:	25,000
1.2 2.Nailon	1	Barra de Ø40mm x 1 m				
					Total 1.....:	25,000
1.3 3.Aluminio	1	Barra de Ø40 mm x 0,5m				
					Total 1.....:	50,000
1.4 4.Laton	1	Barra de Ø40 mm x 0,5 m				
					Total 1.....:	50,000

Comentario	P.ig.	Longitud	Anchura	Altura	Subtotal	Total	
2.1 1.Ingeniero	1	Encargado de diseñar la boquillas, así como estudiar como diseñar estudiando junto con músicos profesionales					
					Total 1.....:	8,000	
2.2 2.Oficial	1	Encargado de tornear las boquillas con los planos facilitados por el ingeniero					
					Total 1.....:	1.200,000	

Comentario		P.ig.	Longitud	Anchura	Altura	Subtotal	Total	
3.1 1. Profesional	1	Encargado de probar las boquillas						
						Total 1.....:	5,000	
3.2 2. Camara Anecoica	1	Lugar donde se realizaran las grabaciones para el posterior analisis de armonicos						
						Total 1.....:	6,000	

Comentario		P.ig.	Longitud	Anchura	Altura	Subtotal	Total	
4.1 1.Empaquetado	1	Materiales y mano de obra						
						Total 1.....:	800,000	
4.2 2.Distribucion	1	Proceso de envío del producto						
						Total 1.....:	800,000	

Comentario	P.ig.	Longitud	Anchura	Altura	Subtotal	Total
5.1 1.TornoConvencio...	1	Pinacho ML 200 x 750				
					Total 1.....:	1,000
5.2 2.Impresora3D	1	Artillery Genius Pro				
					Total 1.....:	1,000

Presupuesto parcial nº 6 Beneficio industrial y costes indirectos

Comentario	P.ig.	Longitud	Anchura	Altura	Subtotal	Total
6.1 1.BeneficioIndustrial 1	6 %					
					Total 1.....:	1,000
6.2 2.CostesIndirectos 1	11 %					
					Total 1.....:	1,000

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
	1 Materiales de fabricación		
1.1	1 Bobina de filamento de PLA para impresión 3D	25,99	VEINTICINCO EUROS CON NOVENTA Y NUEVE CÉNTIMOS
1.2	1 Barra de Ø40mm x 1 m	20,80	VEINTE EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS
1.3	1 Barra de Ø40 mm x 0,5m	49,90	CUARENTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA CÉNTIMOS
1.4	1 Barra de Ø40 mm x 0,5 m	179,39	CIENTO SETENTA Y NUEVE EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS
	2 Ingenieros y oficiales		
2.1	1 Encargado de diseñar la boquillas, así como estudiar como diseñar estudiando junto con musicos profesionales	35,00	TREINTA Y CINCO EUROS
2.2	1 Encargado de tornear las boquillas con los planos facilitados por el ingeniero	30,00	TREINTA EUROS
	3 Estudio sonoro de las boquillas		
3.1	1 Encargado de probar las boquillas	40,00	CUARENTA EUROS
3.2	1 Lugar donde se realizaran las grabaciones para el posterior analisis de armonicos	200,00	DOSCIENTOS EUROS
	4 Proceso de distribución del producto		
4.1	1 Materiales y mano de obra	5,00	CINCO EUROS
4.2	1 Proceso de envío del producto	2,00	DOS EUROS
	5 Maquinas utilizadas en el proceso		
5.1	1 Pinacho ML 200 x 750	20.000,00	VEINTE MIL EUROS
5.2	1 Artillery Genius Pro	475,99	CUATROCIENTOS SETENTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA Y NUEVE CÉNTIMOS
	6 Beneficio industrial y costes indirectos		
6.1	1 6 %	4.720,92	CUATRO MIL SETECIENTOS VEINTE EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS
6.2	1 11 %	8.655,02	OCHO MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y CINCO EUROS CON DOS CÉNTIMOS
	Xeraco Ingeniero Mecánico		
	Christian		

Cuadro de precios nº 2

Advertencia: Los precios del presente cuadro se aplicarán única y exclusivamente en los casos que sea preciso abonar obras incompletas cuando por rescisión u otra causa no lleguen a terminarse las contratadas, sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra fraccionada en otra forma que la establecida en dicho cuadro.

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
	1 Materiales de fabricación		
1.1	1 Bobina de filamento de PLA para impresión 3D (Medios auxiliares) Bobina de filamento de PLA para impresión... 1,000 1 25,233 3% Costes indirectos	25,23 0,76	
			25,99
1.2	1 Barra de Ø40mm x 1 m (Medios auxiliares) Barra de Ø40 mm x 1 m 1,000 1 20,194 3% Costes indirectos	20,19 0,61	
			20,80
1.3	1 Barra de Ø40 mm x 0,5m (Medios auxiliares) Barra de Ø40 mm x 0,5 m 1,000 1 48,447 3% Costes indirectos	48,45 1,45	
			49,90
1.4	1 Barra de Ø40 mm x 0,5 m (Medios auxiliares) Barra de Ø40 mm x 0,5 m 1,000 1 174,165 3% Costes indirectos	174,17 5,23	
			179,39
	2 Ingenieros y oficiales		
2.1	1 Encargado de diseñar la boquillas, así como estudiar como diseñar estudiando junto con músicos profesionales (Medios auxiliares) Ingeniero de producto 1,000 1 33,981 3% Costes indirectos	33,98 1,02	
			35,00
2.2	1 Encargado de tornejar las boquillas con los planos facilitados por el ingeniero (Medios auxiliares) Oficial de mecanizado 1,000 1 29,126 3% Costes indirectos	29,13 0,87	
			30,00
	3 Estudio sonoro de las boquillas		
3.1	1 Encargado de probar las boquillas (Medios auxiliares) Músico profesional 1,000 1 38,835 3% Costes indirectos	38,84 1,17	
			40,00
3.2	1 Lugar donde se realizaran las grabaciones para el posterior analisis de armonicos (Medios auxiliares) Alquiler de camara anecoica 1,000 1 194,175 3% Costes indirectos	194,18 5,83	
			200,00

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
	4 Proceso de distribución del producto		
4.1	1 Materiales y mano de obra (Medios auxiliares) Materiales y mano de obra 3% Costes indirectos	1,000 1 4,854	4,85 0,15
			5,00
4.2	1 Proceso de envío del producto (Medios auxiliares) Proceso de envío del producto 3% Costes indirectos	1,000 1 1,942	1,94 0,06
			2,00
	5 Maquinas utilizadas en el proceso		
5.1	1 Pinacho ML 200 x 750 (Medios auxiliares) Pinacho ML 200 x 750 3% Costes indirectos	1,000 1 19.417,476	19.417,48 582,52
			20.000,00
5.2	1 Artillery Genius Pro (Medios auxiliares) Artillery Genius Pro 3% Costes indirectos	1,000 1 462,126	462,13 13,86
			475,99
	6 Beneficio industrial y costes indirectos		
6.1	1 6 % (Medios auxiliares) 6 % 3% Costes indirectos	1,000 1 4.583,420	4.583,42 137,50
			4.720,92
6.2	1 11 % (Medios auxiliares) 11 % 3% Costes indirectos	1,000 1 8.402,930	8.402,93 252,09
			8.655,02
	Xeraco Ingeniero Mecánico		
	Christian		

Presupuesto y medición

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
1.1 1.PLA	1	Bobina de filamento de PLA para impresión 3D			
		Total 1	25,000	25,99	649,75
1.2 2.Nailon	1	Barra de Ø40mm x 1 m			
		Total 1	25,000	20,80	520,00
1.3 3.Aluminio	1	Barra de Ø40 mm x 0,5m			
		Total 1	50,000	49,90	2.495,00
1.4 4.Laton	1	Barra de Ø40 mm x 0,5 m			
		Total 1	50,000	179,39	8.969,50

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
2.1 1.Ingeniero	1	Encargado de diseñar la boquillas, así como estudiar como diseñar estudiando junto con musicos profesionales			
		Total 1	8,000	35,00	280,00
2.2 2.Oficial	1	Encargado de torneear las boquillas con los planos facilitados por el ingeniero			
		Total 1	1.200,000	30,00	36.000,00

Presupuesto parcial n° 3 Estudio sonoro de las boquillas

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
3.1 1. Profesional	1	Encargado de probar las boquillas			
		Total 1	5,000	40,00	200,00
3.2 2. Camara Anecoica	1	Lugar donde se realizaran las grabaciones para el posterior analisis de armonicos			
		Total 1	6,000	200,00	1.200,00

Presupuesto parcial nº 4 Proceso de distribución del producto

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
4.1 1.Empaquetado	1	Materiales y mano de obra			
		Total 1	800,000	5,00	4.000,00
4.2 2.Distribucion	1	Proceso de envío del producto			
		Total 1	800,000	2,00	1.600,00

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
5.1 1.TornoConvencio...	1	Pinacho ML 200 x 750			
		Total 1	1,000	20.000,00	20.000,00
5.2 2.Impresora3D	1	Artillery Genius Pro			
		Total 1	1,000	475,99	475,99

Presupuesto parcial nº 6 Beneficio industrial y costes indirectos

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
6.1	1	BeneficioIndus...			
		6 %			
		Total 1	1,000	4.720,92	4.720,92
6.2	1	CostesIndirect...			
		11 %			
		Total 1	1,000	8.655,02	8.655,02

Presupuesto de ejecución material

1. Materiales de fabricación	12.634,25
2. Ingenieros y oficiales	36.280,00
3. Estudio sonoro de las boquillas	1.400,00
4. Proceso de distribución del producto	5.600,00
5. Maquinas utilizadas en el proceso	20.475,99
6. Beneficio industrial y costes indirectos	13.375,94
	<hr/>
Total:	89.766,18

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de OCHENTA Y NUEVE MIL SETECIENTOS SESENTA Y SEIS EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.

Xeraco
Ingeniero Mecánico

Christian