



# El so de la impressió 3D

Comparació entre el broquet original i els broquets impresos en 3D

MARINA VERDIELL SÀNCHEZ

2n de Batxillerat C Institut Baix Camp

Prof. Enric Armengol

Reus. 11-12-2020



## Resum

El fet d'estudiar música, tocar la trompeta i agradar-me el dibuix tècnic, va fer que em plantejés fer el treball de recerca d'alguna cosa que pogués relacionar-les. Ja que el broquet és una part important de la trompeta i condiciona molt al seu so, he decidit dissenyar aquesta part per fer la meua recerca. Les hipòtesis d'aquest treball són que el disseny serà fàcil, el so no serà semblant al so original, el preu serà més baix el de la impressió 3D que el de metall i per últim que el broquet que sonaria més similar al de metall seria el de resina per les seves característiques, com el seu acabat llis i per ser el que costa més diners. La metodologia va ser: primer buscar informació de les impressores 3D i les aplicacions de disseny. Després fer el disseny del broquet amb dos programes, portar-lo a imprimir en 3D i fer diverses rectificacions fins que va sortir bé. La impressió va ser en tres materials diferents: àcid profilàctic, àcid profilàctic massís i resina (PLA, PLA massís i resina). Per últim, es va fer l'anàlisi del so, descrivint un model matemàtic que permetia trobar un criteri de semblança entre diferents sons i per acabar s'ha fet l'estudi econòmic. Com a conclusió, es pot dir, que, el que té el so més semblant al broquet professional de metall és el de plàstic PLA que també és el més econòmic. Les aplicacions que pot donar a aquest broquet imprès en 3D, seria per ser utilitzat en l'àmbit de l'educació, professional i personal.

## Abstract

The fact of studying music, playing the trumpet, and liking technical drawing, has driven me to do a research project on something that could relate all of them. The mouthpiece trumpet is an essential part of the trumpet and conditions a lot its sound. For this reason, I decided to design this part on my own to do my research. This work hypothesises that the design will be easy, the sound will not be similar to the original and the price of 3D printing will be lower than metal. Furthermore, the hypothesis supports that the mouthpiece trumpet that would sound more like the metal one, would be the one made with resin due to its characteristics. These are its smooth finish and its cheapness. The methodology started with an informative look at 3D printers and design applications. After the designing of the nozzle with the aid of two programs, it was taken to 3D printing and made several corrections until it came out fine. The printing was made of three different materials: the acid practical profile, solid acid practical profile and resin (PLA, solid PLA and resin). Finally, the analysis of the sound was carried out. This was done by describing a mathematical model that allowed us to find a criterion of similarity between different children. Finally, an economic study was done to compare prices and see if it was worth it. In conclusion, the most economical and similar mouthpiece trumpet compared to the professional metal mouthpiece is the PLA plastic. The applications that could be given to this mouthpiece trumpet printed in 3D would be in the fields of education, in a professional ambit and for personal use.

# Índex

---

1. INTRODUCCIÓ .....	5
2. LA IMPRESSORA 3D .....	8
2.1 Història de la impressora 3D .....	8
2.2 Tipus d'impressores .....	10
2.3 Tipus de materials per a la impressió 3D .....	14
3. LA TROMPETA .....	18
3.1 Parts de la trompeta .....	18
3.2 El broquet.....	19
3.2.1 Com es fa sonar el broquet.....	19
3.2.2 Parts del broquet .....	20
3.2.3 Diferents materials pels broquets professionals .....	21
4. DISSENY DEL BROQUET .....	22
4.1 Aplicacions pel disseny 3D .....	22
4.2 Disseny en diferents programes.....	23
5. EL SO .....	29
5.1 Caracterització del so d'un instrument .....	29
5.3 Model matemàtic del so d'un instrument .....	30
5.2 Mesura de semblança entre sons diferents.....	30
6. ANÀLISIS DEL SO DELS DIFERENTS BROQUETS .....	32
6.1 Anàlisi del so amb el broquet de metall .....	32
6.2 Anàlisi del so dels broquets fets per impressió 3D .....	33
6.3 Comparació .....	34
7. ESTUDI ECONÒMIC .....	37
8. CONCLUSIONS.....	38
WEBGRAFIA.....	39
ANNEX.....	42

# 1.INTRODUCCIÓ

---

Sempre m'ha agrada't la música, toco la trompeta i vaig al Conservatori de Música de Reus, des de fa 13 anys. Tocar la trompeta és una de les activitats que em permeten gaudir i desconnectar més. Aquest any estic a l'últim curs de música, 6è de Grau Professional. Amb tots aquests anys he après molt sobre la música i m'ha permès veure molts aspectes des d'un altre punt de vista.

Quan van dir que havíem de fer el Treball de recerca (TDR) vaig pensar que una bona opció seria fer-lo relacionant dues temàtiques com son la música i el disseny, ja que ambdues m'agraden i em desperten interès. Després d'investigar, vaig trobar diverses idees que a poc a poc una d'elles va anar prenent força. Em va cridar l'atenció la impressió 3D, ja que aquest tema fa pocs anys que és reconegut, però és un àmbit que està avançant molt últimament. Va ser en aquell moment quan vaig pensar que estaria bé fer alguna part de la trompeta amb alguns materials d'impressió 3D per veure el seu cost i la seva qualitat de so.

Inicialment vaig voler fer la trompeta sencera, però després de valorar i parlar amb diferents empreses d'impressió 3D vaig veure que el cost d'imprimir-la sencera era molt elevat. A causa d'aquest motiu, vaig centrar-me a fer el disseny del broquet, ja que el preu de la impressió és molt més raonable i a més a més el broquet és la peça més important perquè és el primer que s'utilitza per aprendre i és el que permet crear el so melòdic de la trompeta.

Els meus objectius son:

1. Dissenyar una part de la trompeta, en aquest cas el broquet, per després imprimir-la en 3D.
2. També volia fer una alternativa al broquet de metall que fos més barat i així que els nens que comencen a tocar la trompeta poguessin tenir el seu broquet per menys diners.

Les meves hipòtesis son:

1. El disseny serà fàcil, ja que agafo les mesures del meu broquet original.
2. Els broquets impresos en 3D sonen diferent que l'original.
3. Ha de ser possible fer un model matemàtic que permeti analitzar el so que fa una trompeta amb diferents broquets.
4. La impressió 3D serà més barata que comprar un broquet de metall.

5. El broquet que generarà un so més semblant al broquet metàl·lic, serà el de resina, ja que presenta unes característiques en un principi més favorables i a demès és més car que els altres materials utilitzats.

La metodologia utilitzada per realitzar aquest treball ha estat la següent: primer s'ha fet una recerca d'informació sobre les impressores 3D, els materials i altres coses relacionades amb aquest tema. Després s'ha buscat informació sobre la trompeta, més detalladament del broquet, per saber com és, les seves parts, com s'utilitza, etc.

Un cop obtinguda tota la informació necessària, s'ha mirat tots els programes o aplicacions on es poden fer dissenys en 3D. Després d'això s'ha agafat el programa que semblava més fàcil per començar i aquest va ser el programa TinkerCAD.

Quan ja s'ha decidit el programa s'ha començat a fer el disseny del broquet. Per fer-ho primer s'ha agafat les mesures del broquet de metall original, i llavors s'han passat al programa per fer el prototip en 3D. A mesura que s'anava fent es van trobar errors de disseny que no es podien solucionar. Llavors es va passar a un altre programa recomanat, anomenat Fusion360°, a aquest programa es feia el disseny en 2D per passar-ho a 3D després. En aquest programa va ser fàcil rectificar els errors i fer bé el disseny.

Quan es va tenir el disseny en 3D vaig passar a imprimir els broquets amb diferents materials que s'expliquen més endavant.

Un cop impresos els broquets amb tres materials diferents es va passar a buscar el so de cada un d'ells amb el broquet metàl·lic. Per això es va buscar un model matemàtic que permetés descriure el so de cada un dels broquets i així poder comparar-los amb el broquet de metall. Per això s'ha calculat l'espectre de cada nota de l'escala cromàtica amb cadascun dels tres broquets i també amb el broquet de referència. Llavors s'ha associat un vector a cada un dels espectres obtinguts, contenint les amplituds dels harmònics per poder comparar-los entre si.

S'ha buscat una manera matemàtica de comparar els vectors associats a aquests sons per tal de tenir un criteri de semblança entre ells. Per tal de trobar aquest criteri de semblança i poder comparar els sons s'ha mesurat l'angle que formen aquests vectors mitjançant una eina matemàtica senzilla basada en el producte escalar.

Llavors, un cop fet l'anàlisi del so, s'ha fet un estudi econòmic per saber la diferència de preu entre el broquet original i els impresos i veure l'estalvi econòmic. Amb aquesta informació s'ha explicat les utilitats que se li poden donar als broquets impresos en 3D.

Per últim he escrit les conclusions que s'han obtingut després de fer tot el treball de recerca tenint en compte les hipòtesis del principi.

## 2. LA IMPRESSORA 3D

---

La impressora 3D pot crear rèpliques, peces o maquetes amb el disseny 3D fet a partir d'alguna aplicació o programa capaç de fer-ho. La idea principal és passar d'un disseny en 2D a 3D i finalment imprimir-ho. És comú utilitzar-la per l'arquitectura i el disseny industrial, però ara també té diverses utilitats com ara per fer decoracions i pròtesis.

### 2.1 Història de la impressora 3D

Les primeres idees de fer una recreació automàtica d'objectes en tres dimensions va ser al segle XIX. François Willème va ser un escultor francès que va crear l'any 1859 el que es considera el primer intent d'escàner 3D de la història, ho va fer ficant 24 càmeres per tindre una instantània des de diferents perspectives.

També Joseph E. Blather va aconseguir el 1892 la patent per desenvolupar mapes en tres dimensions utilitzant una tècnica que després s'utilitzarà amb les impressores 3D.

L'any 1981 va ser on va aparèixer la primera patent relacionada amb la impressió 3D. Un investigador anomenat Kodama volia crear peces sòlides mitjançant l'enduriment d'una tinta de fotopolímer<sup>1</sup> amb llum UV, però el seu projecte mai va ser desenvolupat. Tampoc es va portar a cap un projecte de Méhauté perquè es considerava que no hi havia suficients àrees d'aplicació.

Després de tres anys, Chuck Hull l'any 1984 va inventar l'aparell d'estereolitografia (SLA). Aquesta tecnologia d'impressió 3D es refereix al procés de combinar selectivament cadenes moleculars amb un làser per formar un polímer, per tant, imprimir objectes "capa per capa". Hull va continuar i al 1986 va fundar 3D Systems Corporation, que va llançar el primer sistema d'impressió 3D comercial SLA-1 del món.

Al 1987, Carl Deckard va crear un mètode alternatiu d'impressió 3D on converteix la pols en sòlid en lloc d'utilitzar el procés de resina líquida de Chuck Hull que va ser el sinteritzat selectiu per làser (SLS). El mètode de Deckard requereix l'ús d'un làser per unir la pols i solidificar-la. La seva primera màquina es deia "Betsy".

---

<sup>1</sup> **Fotopolímer:** substància sintètica que experimenta una transformació molecular per l'acció de la llum, sovint ultraviolada.

Scott Crump al 1989 va inventar i patentar un nou mètode de fabricació additiva anomenat Fused Deposition Modeling (FDM). Aquesta tècnica consisteix a fondre filaments de polímer i dipositar-los capa per capa sobre un substrat per crear objectes en 3D.

Molts anys després, gràcies als avanços de la impressió 3D, al 1999, l'Institut de Medicina Regenerativa de La universitat de Wake Forrest van ser els primers a implantar a humans els primers òrgans modificats per mitjà d'implants artesanals impresos en 3D i coberts amb cèl·lules del pacient.

MCP Technologies va fer una nova impressora 3D l'any 2000 que va ser introduir la tecnologia de fusió selectiva per làser (SLM).

L'any 2002 es funda Envision Tec, a l'Institut de medicina Regenerativa de la Universitat de Wake Forrest, com hem dit abans, van imprimir el primer òrgan en 3D, que va ser un ronyó completament funcional.

Adrian Bowyer, professor d'enginyeria mecànica de la Universitat de Bath, al 2004 va fundar el projecte RepRap, un projecte on volia democratitzar la impressió 3D i estendre la tecnologia a persones de tot el món.

Com hem vist abans gràcies a l'evolució de la impressió 3D van implantar a humans els primers òrgans modificats per mitjà d'implants artesanals impresos en 3D i coberts amb cèl·lules del pacient. Llavors, al 2008, es crea i utilitza la primera pròtesi impresa en 3D, que és "tal com és" i no cal una postinstal·lació addicional. Actualment, a tot el món s'han creat i utilitzats diverses pròtesis impreses en 3D.

L'empresa Organovo Inc., que és una companyia de medicina regenerativa, anuncia la publicació de dades sobre els primers vasos sanguinis completament bioimpressos al 2010. L'any 2012 es va crear el primer implant de mandíbula inferior en 3D, això ho va fer LayerWise. Després, es va fabricar la primera pròtesi d'una mà creada per Robohand al 2013. Un any després, es crea una pelvis a mesura.

Al 2010 van arribar les primeres impressores 3D a les cases. I en aquest mateix any Kor Ecologic presenta "Urbee", el primer automòbil amb el seu capó imprès en 3D.

A partir d'aquest moment van voler utilitzar la impressió 3D amb els aliments. La creació d'objectes amb xocolata va ser la primera impressió que van fer el 2011 i, llavors, es va crear una impressora 3D pels aliments, fabricada per la universitat de Comell que van

fer el seu primer biquini imprès en 3D, i altres aliments. Al 2012, Essential Dynamics ensenya la seva impressora en 3D de xocolata anomenada "Imagine".

La NASA li dona una beca a l'empresa Systems & Materials Research Corporation perquè fabriqui una impressora 3D d'aliments. A més a més, gràcies a tota aquesta evolució, la NASA envia a la ISS impressora "ZeroG" que podia imprimir sense gravetat.

I per últim, l'any 2014 es va crear la primera impressora 3D de maquillatge, es va crear un nou sistema d'impressió 3D anomenat "Atlas" que podia fins i tot construir una casa i Amazon va començar a vendre una gran quantitat de productes impresos en 3D.

Tot i aquests avanços, la història de les impressores 3D encara no ha acabat. Constantment veiem exemples del que pot fer la impressió 3D i no se sap fins on es pot arribar, ja que les possibilitats són infinites.

Ara s'entrarà en detalls amb les diferents impressores que hi ha i com funcionen.

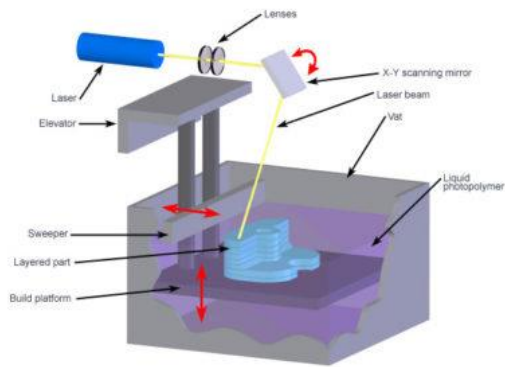
## 2.2 Tipus d'impressores

Hi ha diferents tipus d'impressores 3D, les característiques depenen de les propietats que volem que tingui l'objecte que volem imprimir perquè sigui més adequada. A continuació, s'explicarà els diferents tipus d'impressores.

En aquest cas, per imprimir el prototip s'ha utilitzat la impressora DLP per la impressió amb resina i també la impressora FMA per la impressió amb diferents materials plàstics.

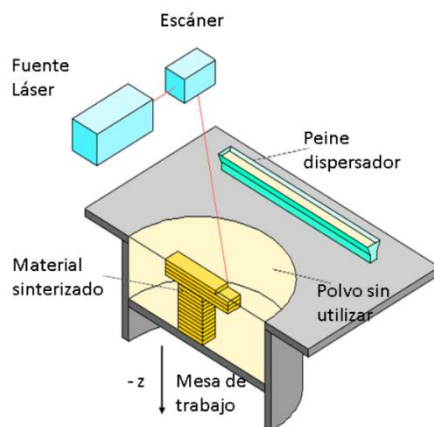
- **Impressora 3D per estereolitografia (SLA)**

Va ser la primera tècnica a utilitzar-se. Funciona amb l'aplicació d'un feix de llum ultraviolada (UV) a una resina líquida sensible a la llum. Llavors, la llum UV va solidificant la resina capa per capa. La base que recolza l'estructura es desplaça cap avall de manera que la llum pugui exercir el seu efecte sobre el nou bany fins que l'objecte assoleixi la forma desitjada. Aquest mètode aconsegueix peces de gran qualitat, tot i que es perd una certa quantitat de material al suport fabricat.

Imatge 1: maqueta impressora 3D SLAImatge 2: Impressora 3D SLA real

- **Impressora 3D de Sinterització Selectiva per Làser (SLS)**

Va néixer a la dècada del 1980. Tot i que presenta algunes similituds amb la tecnologia SLA, permet l'ús d'un gran nombre de materials en pols (ceràmica, vidre, niló, poliestirè, etc.). El làser xoca contra la pols, fon el material i es solidifica. Tots els materials no utilitzats s'emmagatzemen a la ubicació on s'inicia la impressió, de manera que no es malgasten materials i es poden tornar a utilitzar.

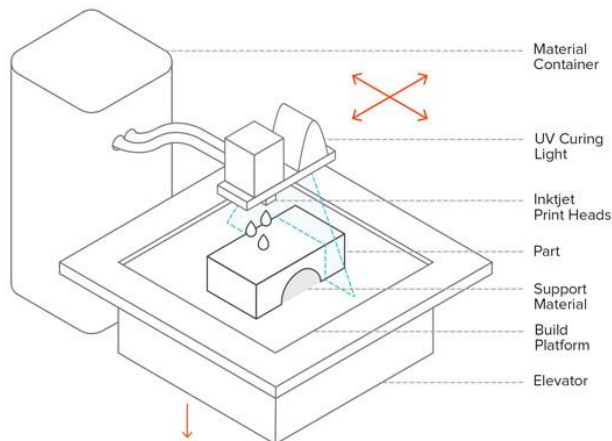
Imatge 3: Maqueta Impressora 3D SLSImatge 4: impressora 3D SLS real

- **Impressores 3D per injecció**

Funciona com les impressores 3D de tinta a foli, que són les habituals. Però aquesta injecta capes de fotopolímer líquid que es pot solidificar a la safata de construcció i no injecta gotes de tinta al paper com la impressora tradicional. El millor exemple d'impressora 3D és aquest:

- **Impressora 3D per injecció de material (MJ)**

Aquesta impressora consisteix en un capçal d'impressió que es mou injectant el fotopolímer que és un material plàstic reactiu a la llum, en lloc d'utilitzar tinta com a les impressores tradicionals. Aquest capçal està envoltat d'una llum ultra violeta per així endurir el material cada vegada que s'injecta. Aquest procés es va repetint capa per capa fins a obtenir l'objecte resultant.



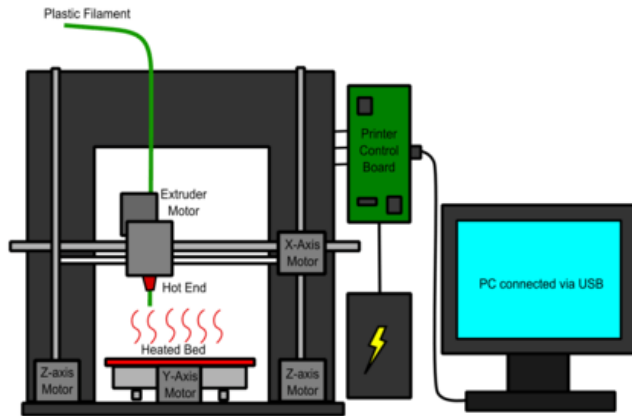
Imatge 5: Maqueta impressora 3D MJ

Imatge 6: Impressora 3D real

- **Impressió per deposició de material fos (FDM)**

Primer tenim una sèrie de materials sòlids guardats en rotllos que es fonen i són expulsats sobre una base amb petits fils que es van solidificant quan van prenent forma capa per capa.

Aquesta tècnica és la més comuna en la impressió 3D d'escriptori i usuari domèstic.



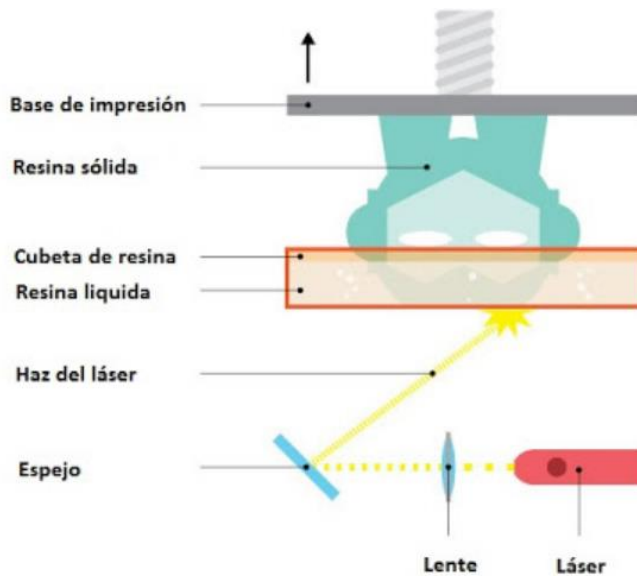
Imatge 7: Maqueta impressora 3D FDM



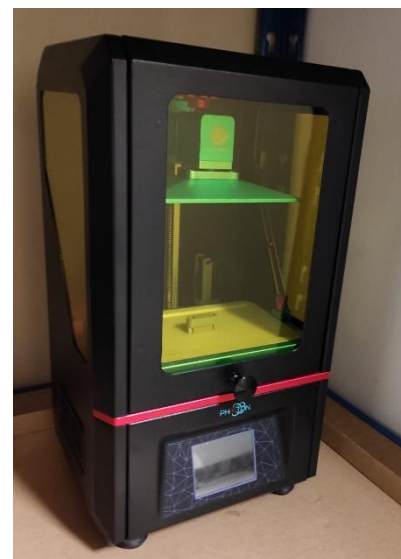
Imatge 8: Impressora 3D FDM real

- **Impressora de processament digital de llum (DLP)**

Aquestes impressores utilitzen resines amb un fons transparent i aquesta fa una peça invertida capa per capa com podem veure a la imatge 9. Per assecat la resina s'utilitza una projecció digital que es reflecteix a un mirall molt petit situat estratègicament perquè la llum toqui a tota la peça i així tots els punts s'asequin al mateix temps. La peça queda amb un acabat molt perfecte i fi.



Imatge 9: Maqueta impressora 3D DLP



Imatge 10: Impressora 3D DLP

## 2.3 Tipus de materials per a la impressió 3D

Les impressores utilitzen diferents materials per la impressió 3D. El plàstic és un polímer que està fet de materials sintètics o mitjanament sintètics que tenen la propietat de ser mal·leables. Per això són bastant bons per la impressió 3D. Ara s'anomenaran alguns materials per la impressió 3D i les seves característiques.

Taula 1: Materials per la impressió 3D

Materials	Per a què s'utilitza	Avantatges	Inconvenients	Consells per la impressió
Filament <b>ABS</b>	Fundes de mòbils, electrodomèstics i carrosseria d'automòbils.	Material reutilitzable. Resistent als cops i flexible. Resisteix a grans temperatures.	No és biodegradable i es contrau quan està en contacte amb l'aire. Difícil d'imprimir.	La impressora 3D ha d'estar calenta. Prohibit utilitzar ventiladors de capa. S'ha de fer en zones ventilades.
Àcid profilàctic <b>PLA</b>	Per fer envasos. Elements decoratius.	Fàcil d'imprimir. Material biodegradable. Pot imprimir sense que la impressora estigui molt calenta. S'obté de materials reutilitzables.	Tendeix a reduir-se lleugerament després de la impressió 3D. És un material més difícil de manipular, ja que es refreda i solidifica molt ràpidament. Es pot deteriorar si entra en contacte amb l'aigua.	Es recomana utilitzar ventiladors de capa perquè quedi un bon acabat. Utilitzar adhesiu a la base de la impressora perquè no surti de la base.
Acrilonitril estirè acrilat <b>ASA</b>	Per parts d'una casa (els marcs de les finestres i sostres), components aeroespacials, joguines, instal·lacions elèctriques, etc.	Semblant al filament ABS. Resistència als raigs ultraviolats	Deformacions quan es refreda. Extreu estirè i produeix una olor desagradable.	La impressora 3D ha d'estar calenta. No imprimir-ho en un lloc tancat.
Tereftalat de polietilè <b>PET</b>	Ampolles de plàstic d'un sol ús. Objectes que estiguin en contacte humà per l'ús alimentari.	És un bon material per qualsevol peça amb contacte amb els aliments. Material bastant rígid. 100% reciclable. No allibera mala olor.	Es torna feble a partir de 70°C aproximadament. Una mica tòxic. No es biodegradable.	S'ha d'imprimir entre 215-250 °C.

<p>Polièster glicolitzat <b>PETG</b></p>	<p>És utilitzat en la fabricació additiva.</p>	<p>Combina la facilitat de la impressió 3D del PLA amb la resistència de l'ABS.</p> <p>És un material 100% reciclable</p> <p>Se li ha aplicat glicol, un element que redueix la seva fragilitat i per això ha guanyat resistència.</p>	<p>S'imprimeix a una temperatura molt alta.</p> <p>Pot absorbir la humitat.</p>	<p>La impressora ha d'estar calenta.</p> <p>S'ha de mantenir en un ambient fresc i sec.</p>
<p>Polycarbonat <b>PC</b></p>	<p>És dissenyat per aplicacions d'enginyeria.</p> <p>És bastant utilitzada per dissenyar peces òptiques, pantalles protectores i objectes decoratius.</p>	<p>És un material amb alta resistència a la temperatura i resisteix qualsevol deformació física de fins i tot 150°C.</p> <p>Aquest material es valora per la seva transparència i la seva solidesa.</p>	<p>És propens a absorbir la humitat de l'aire i això pot afectar el rendiment i la resistència quan s'imprimeix.</p>	<p>S'ha d'emmagatzemar a un lloc hermètic.</p>
<p>Polímers d'alt rendiment <b>PEEK, PEKK, ULTEM</b></p>	<p>S'utilitza en l'àmbit aeroespacial, automotriu i mèdic.</p>	<p>Resistència mecànica i tèrmica alta.</p> <p>Son molt forts i al mateix temps més lleugers que altres metalls.</p>	<p>No es poden imprimir en totes les impressores FDM del mercat.</p> <p>S'imprimeix a una temperatura molt alta.</p>	<p>La impressora ha d'estar almenys a 230°C i en una càmera tancada.</p>
<p>Polipropilè <b>PP</b></p>	<p>S'utilitza en el sector automotriu, tèxtil professional i en la fabricació de molts objectes quotidians.</p>	<p>Resistència a l'abrasió i a la capacitat per absorbir cops, així com la seva relativa rigidesa i flexibilitat.</p>	<p>Poca resistència a baixes temperatures.</p> <p>Poca sensibilitat als raigs UV que pot fer que s'expandeixi.</p>	<p>Pels seus inconvenients alguns fabricants van fer unes alternatives del PP (simili-propilens), que son més forts físicament i mecànicament.</p>
<p>Poliamides <b>NYLON</b></p>	<p>S'utilitza normalment per crear parts que entren en contacte amb aliments.</p> <p>S'utilitza per la fabricació d'engranatges, robòtica, pròtesis mèdiques i motlles per la injecció.</p>	<p>Bon equilibri entre les seves característiques químiques i mecàniques que li proporcionen una bona estabilitat, rigidesa, flexibilitat i resistència als cops.</p>	<p>S'imprimeix a una temperatura molt alta.</p> <p>Absorbeix la humitat.</p> <p>Té dificultats per adherir-se a la placa de la màquina.</p>	<p>La impressora ha d'estar calenta.</p> <p>S'ha de cuidar l'emmagatzematge del material, ja que absorbeix la humitat.</p>

<b>Compostos</b>	S'utilitza per a la fabricació additiva.	Es poden fer peces lleugeres i fortes.	Com que son compostos normalment no tenen desavantatges.	La impressora ha d'estar calenta.
<b>Filament HIPS</b>	Envasos alimentaris. Fabricació de joguines, sabates, separadors de fruita, etc.	Resistència elevada. Material reciclable. No hi ha esquerdes entre capes. No desprèn gasos nocius. Resistent a l'aigua. Bon aïllant tèrmic.	És un material que no es pot utilitzar per estar a l'aire lliure. A partir dels 80°C comença a deformar-se.	La temperatura de la impressora 3D ha de ser de 180-260°C . No necessita una base calenta.
<b>Alúmina</b>	S'utilitza per a models complexos. Peces de disseny	Gran resistència. Bona resistència a la temperatura.	Ha de passar per tractaments post processaments.	La impressora 3D ha d'estar calenta.
<b>Filament fibra de carboni</b>	Es pot utilitzar en la fabricació de peces de bicicletes, motocicletes, vehicles en general, modelisme, etc.	Gran resistència mecànica i gran lleugeresa. Gran adhesió i un gran reforç entre capes. És un bon aïllant tèrmic. Estable a altes temperatures. Fàcil d'imprimir. Grans acabats.	Temperatura d'impressió elevada. Material molt abrasiu.	No necessita base calenta de la impressora 3D. El seu rang de temperatura ha de ser de 230-265 °C.
<b>Materials flexibles</b>	Elements protectors. Polseres i penjolls Elements decoratius. Joguines flexibles. Parts tàctils suaus d'eines.	Resistència als cops. Esmorteixen els cops. La seva capacitat d'allargament és moderada. Material reciclable.	Tenen poca resistència als químics i a la calor. Tenen una perduda d'elasticitat si es fonen a una temperatura molt alta. Amb el pas del temps perden elasticitat.	S'ha d'utilitzar una velocitat baixa.

<b>Resines</b>	Aplicacions tècniques com per exemple l'odontologia.	Bons detalls. Superfície llisa. Propietats similars a l'ABS.	Rang de color limitat. Propietats mecàniques moderades.	La impressora 3D ha d'estar calenta. Prohibit utilitzar ventiladors de capa. S'ha de fer en zones ventilades.
----------------	--	--	--	---

Els broquets que s'han imprès en 3D han estat tres: un de resina, un de PLA i un altre de PLA però massís. S'han imprès aquests materials perquè a l'empresa on es va a anar a imprimir els prototips, sols hi havien aquest materials, i a demès son els més utilitzats.

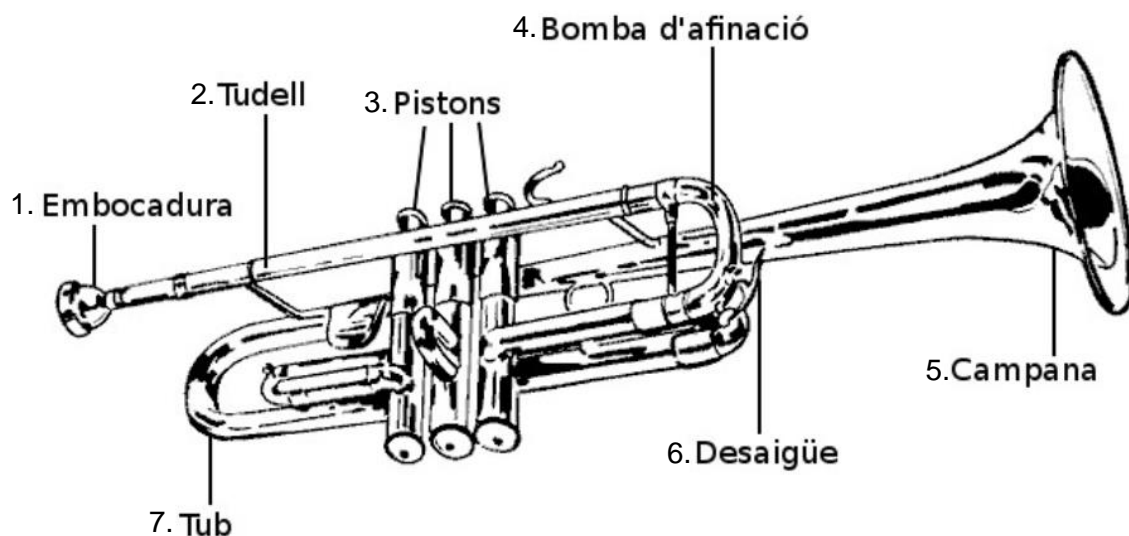
### 3. LA TROMPETA

La trompeta és un instrument de vent de la família del metall. Consisteix en un tub llarg que està doblegat bastants vegades, amb una amplada que augmenta progressivament i acaba a la campana, que és per on surt el so. Per modificar el so s'utilitzen els pistons. Abans només era un tub llarg recte que s'ampliava fins a la campana, sense pistons.

Aquest instrument sona mitjançant la vibració dels llavis a l'embocadura, que és el broquet, i les seves notes canvien depenent la posició dels dits als pistons, que n'hi ha tres, i depenent de la força amb què el músic expulsi l'aire. També es pot canviar el so obrint o tancant unes vàlvules que canvien l'afinació de l'instrument.

El seu so és brillant, agut i potent (depenent de l'aire que expulsis). La trompeta que es veu normalment està afinada en si bemoll i per això es coneix com un instrument transpositor<sup>2</sup>, però també hi ha trompetes en do, que no son transpositores. També n'hi ha d'altres que estan afinades en fa, en la i en mi bemoll.

#### 3.1 Parts de la trompeta



Imatge 11: Parts de la trompeta

<sup>2</sup> Transpositor: Quan es toca una nota, aquesta no es la que sentim.

1. L'embocadura, també anomenada **broquet**, serà explicada i desenvolupada en el punt 3.2 El broquet.
2. El **tudell** és al principi de la trompeta i és la part on s'introdueix el broquet.
3. Els **pistons** són tres peces introduïdes en tres vàlvules que es poden pressionar i deixar anar per fer diferents notes combinant la seva posició. Amb la combinació de posició i canviant la pressió realitzada per la boca es pot produir un rang de 2 octaves<sup>3</sup> i mitja.
4. La **bomba d'afinació** s'utilitza per poder tenir l'afinació perfecta. Es fa estirant una mica cap a fora la bomba o cap a dintre, depenent de si estàs alt o baix d'afinació.
5. La **campana** és la part final de la trompeta i és per on surt tot el so que es produeix. Té com funció amplificar el so i millora la seva projecció.
6. El **desaigüe** és el que extreu la saliva acumulada en aquella vàlvula, ja que quan es fa sonar la trompeta es queda la saliva en aquella vàlvula i es treu prement una palanca que obre la vàlvula.
7. El **tub** és el cos de la trompeta, ja que és un tub enrotllat.

## 3.2 El broquet

És la part on es produeix el so de la trompeta. Aquesta part és la que s'ha dissenyat en 3D per fer la comparativa dels diferents aspectes del broquet original.

### 3.2.1 Com es fa sonar el broquet

Hi ha dues parts molt importants per fer sonar la trompeta:

1. La primera part és la **respiració**, ja que aquesta és la base de tot. La inhalació-exhalació és molt important, s'ha de tenir la columna d'aire relaxada, però també enfocada i ferma. Tot això fa que es produeixi un so brillant, rodó, net, afinat i permet crear un ample registre que va des de sons greus fins aguts.
2. La segona part és la **vibració** del llavi. Si es realitza correctament, el so serà més net i precís. Aquesta es fa gràcies al pas de l'aire entre els llavis. Per fer la vibració hi ha tres requisits:
  - 2.1 El primer és premsar els llavis i estrènyer les cantonades dels llavis. Però s'ha d'intentar no xafar-los, no omplir les galtes d'aire, mantenir la boca recta

---

<sup>3</sup> Octava: la separació entre una nota i la mateixa per sobre, per exemple: **do-re-mi-fa-sol-la-si-do'**

i no estrènyer les dents, tenint la mandíbula solta, ja que son coses que es fan molt habitualment i son accions equivocades.

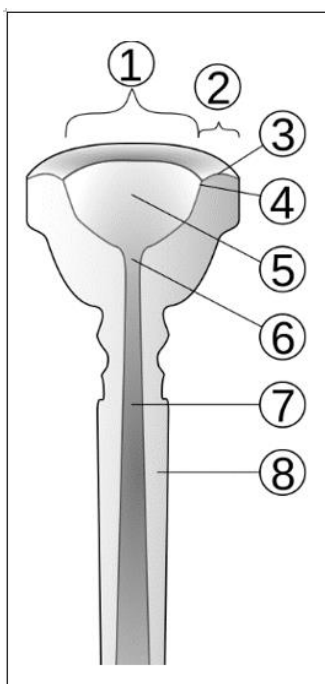
2.2 El següent pas és empènyer a través dels llavis l'aire per produir un so com de bronzit. Això es fa mitjançant la vibració que fas quan empenys l'aire.

2.3 Quan es tenen tots els passos anteriors, es passen a la pràctica amb el broquet sense estar unit amb la trompeta.



Imatge 12: Col·locació dels llavis per tocar el broquet

### 3.2.2 Parts del broquet



Imatge 13: Parts del broquet

1. **Diàmetre interior.** És la part on es fa vibrar els llavis perquè soni. Ha de ser proporcional als llavis de qui toqui amb aquell broquet. Depenent de l'amplada del diàmetre interior, es poden fer notes greus si es molt ample o notes agudes si és més petit.

2. **Amplada de la vora.** Això també ha de ser proporcional als llavis de qui toqui el broquet, ja que es on reposa el llavi i ha de ser còmode per la persona.

3. **Contorn de la vora.** Aquesta és la part on es concentra la pressió del llavi. El contorn està relacionat amb el tipus de circumferència que té la vora.

4. **Vora interior.** Fa la mateixa funció que el contorn de la vora.

5. **Copa.** És la responsable de la sonoritat, la riquesa d'harmònics i la facilitat de fer les notes agudes i greus. Hi ha dos tipus de forma de copa: en "V" o en "C". La forma "V" facilita la projecció i dona un so clar mentre que la forma "C" produeix un so més obscur i més resistent.

6. **Coll.** És el responsable de regular la pressió, la quantitat d'aire i la resistència a l'instrument. El coll ha d'estar relacionat amb la capacitat física de la persona perquè

depenent de la seva amplitud, al trompetista se li farà més difícil tocar, ja que ha d'expulsar molt d'aire.

7. **Con interior.** És la part que va del coll a la sortida i està situada a l'interior del broquet. El seu disseny és complex i les seves dimensions i formes afecten tant a les notes altes com a les baixes i també al timbre i a la resistència.

8. **Tudell exterior.** És la part que ha d'encaixar amb el tudell de la trompeta. És molt important que encaixin perfectament, ja que si es moguéssim el broquet introduït, la trompeta no sonaria bé.

### 3.2.3 Diferents materials pels broquets professionals

Hi ha broquets de diferents materials. El més utilitzat és el llautó, un aliatge, amb diferents proporcions de coure i zinc. Amb aquest material es produeix un broquet amb bona sonoritat i bon preu. També n'hi ha de formats amb alumini, fòsfor, bronze, coure, acer, niló, plata, vidre i llautó i molts més.

Després de fabricar el broquet amb algun d'aquests materials es banya en un altre producte, com ara l'or i la plata –que són els més utilitzats- i no afecta la sonoritat, perquè li fa canviar només l'aparença, l'acabat. Però aquest producte ha de ser resistent a la humitat, ja que està amb contacte amb la vibració dels llavis d'una persona i això fa que expulsi saliva i alhora ha de ser còmode pels llavis.



Imatge 14: Broquet banyat en plata



Imatge 15: Broquet banyat en or




## 4. DISSENY DEL BROQUET

Per fer el disseny es disposa de diferents aplicacions 3D. I després començar a fer el prototip.


### 4.1 Aplicacions pel disseny 3D

Les aplicacions més utilitzades són aquestes:

Taula 2: Aplicacions d'impressió 3D

Programa	Logotip	Nivells	Per a que està enfocat
<b>TinkerCAD</b>		Principiant	Ho pot utilitzar tothom
<b>Paint 3D</b>		Principiants	Artistes i dissenyadors gràfics
<b>FreeCAD</b>		Intermedi	Perquè ho utilitzin pel disseny tècnic
<b>Open SCAD</b>		Intermedi	Pel disseny a través d'un codi
<b>SketchUP</b>		Intermedi	Pel disseny tècnic d'interiors.
<b>SolidWorks</b>		Avançat o professional	Pel disseny tècnic avançat.
<b>Fusion 360</b>		Avançat o professional	Pel disseny tècnic professional
<b>Blender</b>		Avançat o professional	Pels artistes i dissenyadors gràfics
<b>Catia</b>		Per la indústria	Pel dissenys i muntatges mecànics avançats
<b>Autodesk Inventor</b>		Per la indústria	disseny i muntatge mecànic

## 4.2 Disseny en diferents programes

A l'hora de dissenyar el broquet s'ha utilitzat el programa TinkerCAD  ja que és molt apte per a principiants, fàcil d'utilitzar i molt intuïtiu. Aquest proporciona peces que ja estan predissenyades (com per exemple: un cub 3D, una esfera 3D i molts altres volums i polígons més).

Per la formació del broquet el primer que s'ha fet ha estat elegir les peces que es volen utilitzar, modificar una a una les mesures perquè siguin les mateixes del broquet i finalment, unir-les per formar-lo. Les següents 14 peces son les que s'utilitzaran en el disseny del broquet:

- **2 Cilindres**, un per fer una part de la copa exterior i l'altre per fer una part del forat de la copa interior.
- **2 Mitja Esfera**, un per la part de fora de la copa exterior i un altre per fer el forat de l'embocadura.
- **1 Tor**, per la decoració.
- **2 Alta Resolució...**, un per fora, per fer el tudell exterior i l'altre a l'interior per fer el forat del con interior.
- **7 Tub**, un per la vora de l'embocadura i els altres per la decoració del broquet.



Cilindre

Mitja Esfera

Tor

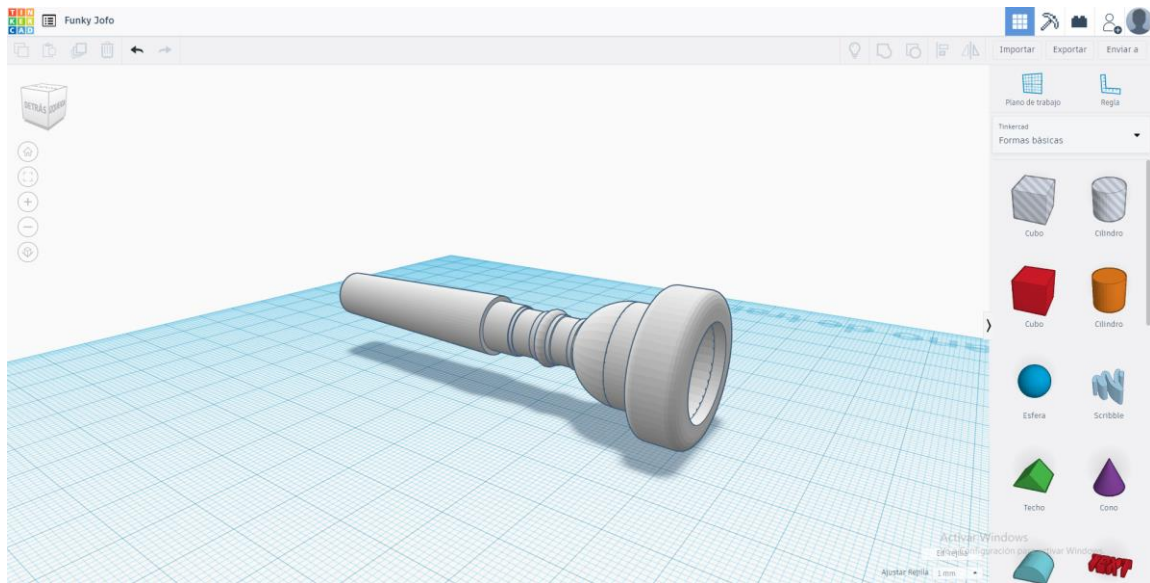
Alta Resolució...

Tub

Imatge 16: Formes que s'han utilitzat per fer el broquet



Després de la unió de totes aquestes peces, el broquet el l'aspecte següent:



Imatge 19: Broquet finalment amb les peces unides

Quan es va procedir a la impressió dels broquets, el primer broquet imprès es va observar que hi havia algunes dificultats en la impressió que impediien que el disseny fos igual al real. A més a més, l'interior de l'embocadura on es col·loquen els llavis era plana i no hi havia curvatura, la qual cosa provocava dolor en intentar fer-lo sonar, ja que la superfície és tallant.

A causa d'aquests problemes i per recomanació de l'empresa que imprimien els prototips, es va decidir canviar de programa.

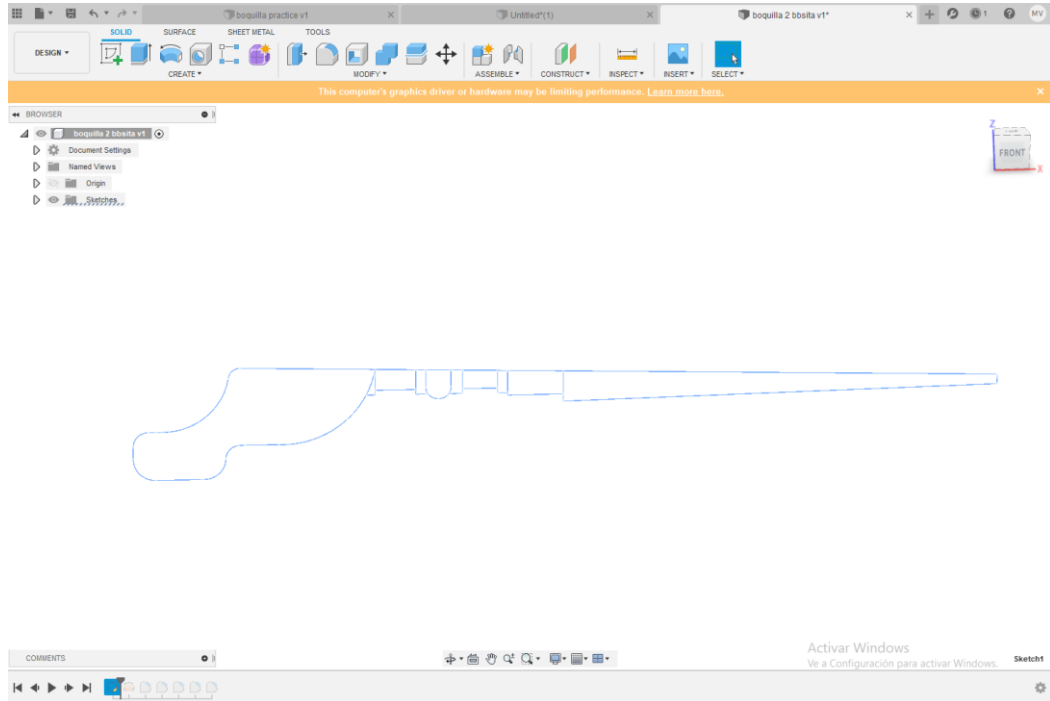
Concretament es va canviar al fusion360 **F**. Aquest és un programa més complet on l'accés és gratuït a estudiants i on es pot fer el disseny més precís i a demès s'obté una impressió més fidel, més bona i polida.

Pel disseny del broquet amb fusion360 es va iniciar des de zero, és a dir, no es començava amb peces predissenyades sinó que s'havia de començar fent un disseny en 2D i després passar-ho a 3D, fet que complica el procés.

A continuació es detalla com es passa d'una idea a un prototip:

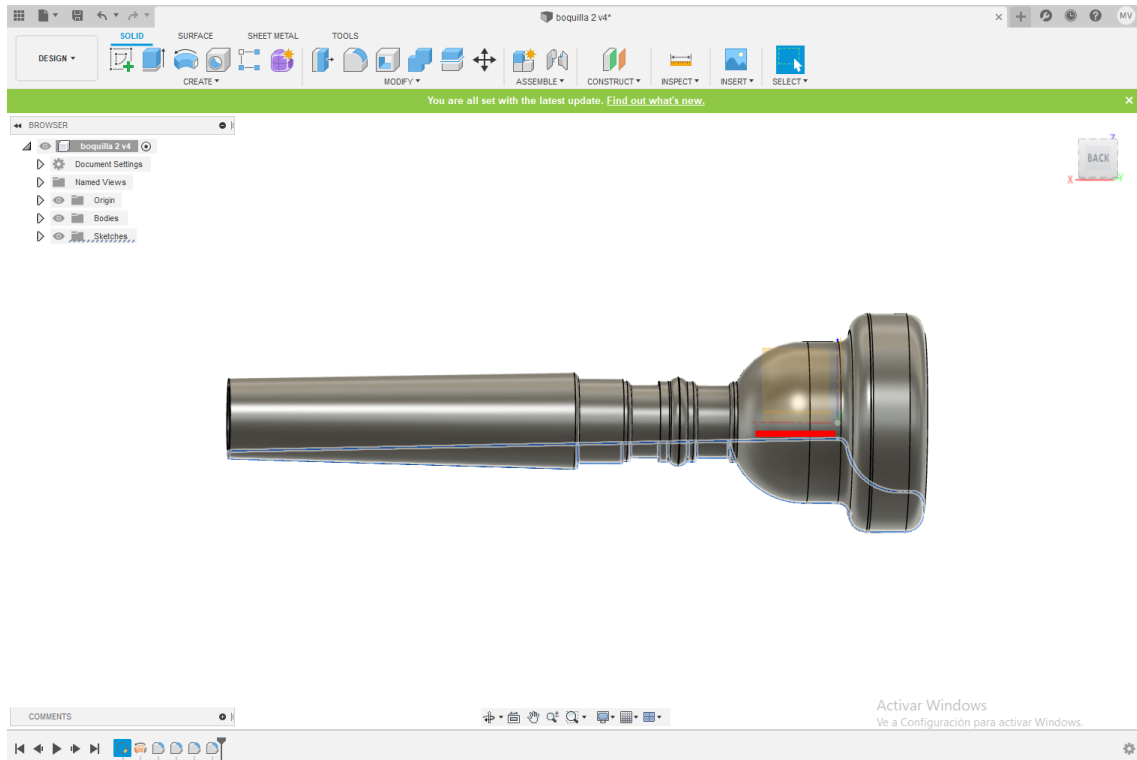
1. Primer s'escull en quin pla (x, y, z) es vol dibuixar per fer el disseny en 2D per una vegada format passar-ho a 3D.

2. A continuació, es dibuixa únicament un quart del broquet dividint-lo horitzontalment i fent un tall de l'embocadura al tudell tenint en compte que a la dreta tenim el tudell i a l'esquerra l'embocadura, com es veu a la imatge 20.



Imatge 20: Disseny broquet 2D

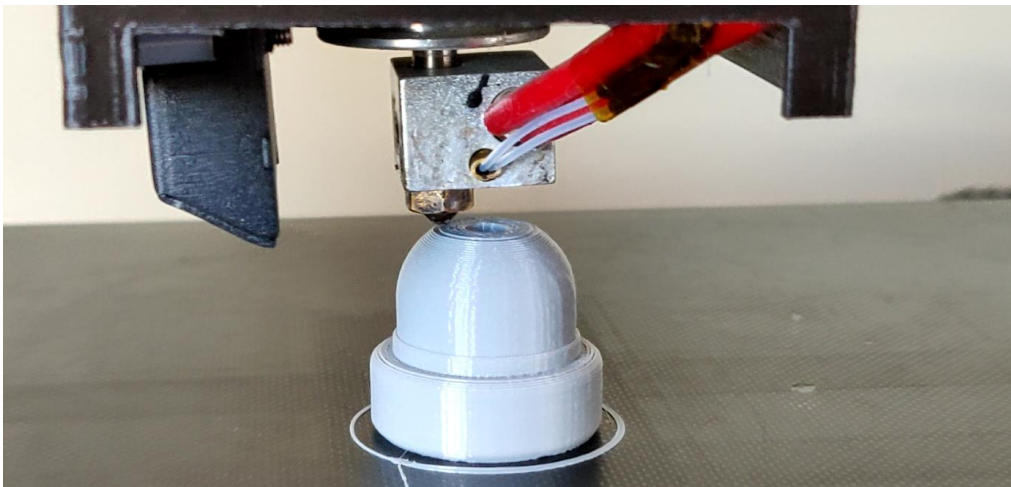
3. Una vegada dissenyats els plans, amb una eina anomenada *revolve*, que es troba dins del programa, es fa que es completi el broquet automàticament fent una volta de  $360^\circ$  per fer que sigui simètric i estigui en 3D. Aquesta eina demana la selecció de la part que es vol girar. En aquest cas es va seleccionar tot el dibuix i després es va seleccionar l'eix de coordenades X per fer la volta, que és la línia vermella que es veurà a la imatge 21. A la mateixa imatge, el que s'observa de color blau és el dibuix que s'ha dissenyat en el pla en 2D.



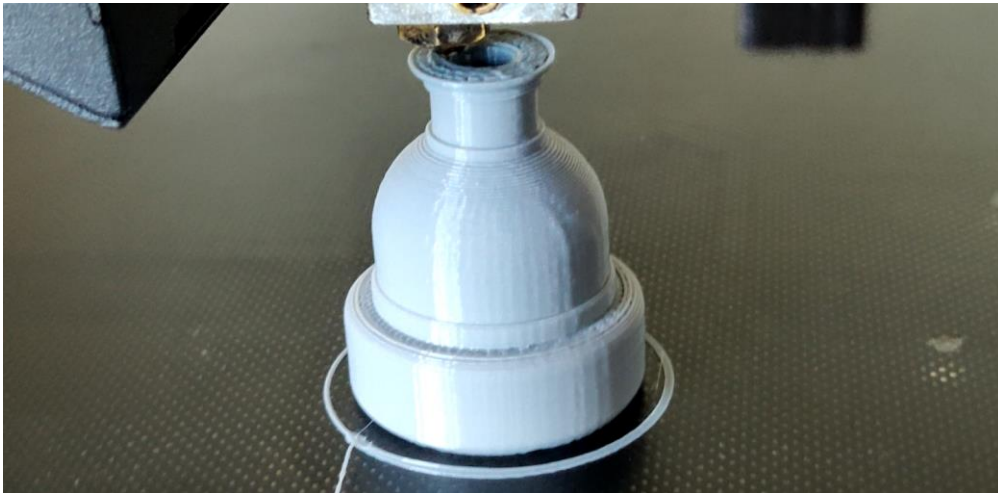
Imatge 21: Broquet fet amb Fusion360

Aquest és el prototip nou on es va poder fer el disseny perfecte amb totes les decoracions definides i amb la part interior on fiques els llavis, l'embocadura, amb la curvatura que es volia.

Quan ja es va tindre el disseny del broquet, el document es va passar a format SLS perquè la impressora 3D ho pogués imprimir directament en 3D amb diferents materials. Els broquets es van imprimir a una empresa anomenada ARQUITECTURAIMPRESA.



Imatge 22: Impressió del broquet PLA 1



Imatge 23: Impressió del broquet PLA 2

Els materials son: la resina, el PLA massís i el PLA. Quan ja es tenen els broquets impresos es comprova si s'assemblen al broquet de metall.

Quan es tenen definitivament els broquets impresos generarem una escala cromàtica amb cada un d'ells, amb la intenció de comparar-los amb el broquet original de metall per veure quin s'assembla més.

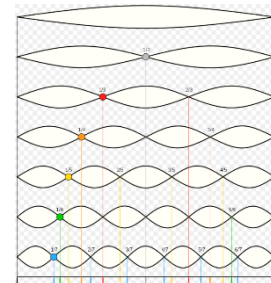
## 5. EL SO

El so d'una nota es correspon amb un senyal periòdic en el temps que es pot descompondre com la suma d'unes funcions harmòniques (sinus) variades amb una certa amplitud i una fase. Aquest so és la sensació produïda per la nostra oïda, per les vibracions dels cossos elàstics, propagades a través d'un medi (normalment l'aire). Hi ha qualitats del so que es poden mesurar, com per exemple:

- El **to**: és el nombre d'oscil·lacions per segon, es correspon amb la freqüència de la component fonamental del so i es mesura en Hertz (Hz). Quan la freqüència és més alta, el so és més agut i quan la freqüència és més baixa, és més greu.
- La **intensitat**: és la potència d'ona de la vibració i també és el quadrat de l'amplitud. Va associada a l'energia del so i es mesura en decibels (dB<sup>4</sup>).
- El **timbre**: és una apreciació qualitativa que ens permet distingir sons diferents o d'instruments diferents i és deguda a les diferències relatives entre els harmònics d'un so.
- La **duració**: és la persistència en el temps de l'ona sonora.

### 5.1 Caracterització del so d'un instrument

El so de l'instrument té com una de les seves característiques que la freqüència fonamental és la freqüència que correspon al to de la nota, per exemple, un "La" estàndard de diapasó és 440 Hz. Però cada so és una composició d'una suma del fonamental<sup>5</sup> i els diferents harmònics<sup>6</sup>.



Imatge 24: Harmònics

Els harmònics son ones de so que tenen freqüències múltiples de la fonamental, és a dir, si el fonamental està a 440 Hz el següent estarà a 880 Hz, l'altre a 1320 Hz, etc. Però per cada instrument pot variar la freqüència de la seva fonamental i això fa canviar la freqüència de tots els harmònics.

<sup>4</sup> dB: és una unitat logarítmica de mesura. Correspon a 10 vegades el logaritme en base 10 de la potència de l'harmònic dividida per la potència del fonamental; també cada tres decibels es correspon a doblar la potència.

<sup>5</sup> Fonamental: so principal d'una escala o tonalitat.

<sup>6</sup> Harmònics: son senyals sinusoidal que formen una ona. Com es veu a la imatge 24.

## 5.3 Model matemàtic del so d'un instrument

Per poder analitzar aquests sons s'enregistra amb un programa d'anàlisi del so, que també permet l'anàlisi espectral, que és l'espectre de freqüències i és la mesura de distribució d'amplituds de cada freqüència. En aquest cas, utilitzarem uns gràfics d'intensitat enfront de la freqüència d'una ona particular. El programa utilitzat és *audacity*, un programa de codi lliure, d'anàlisi i d'edició gratuït.

Disposant dels sons de l'escala cromàtica<sup>7</sup> per cada un dels broquets, sobre cada un d'aquests sons s'extreu l'espectre de freqüències. Per descriure l'espectre de freqüències de cada so, associem un vector d'11 components a cadascun dels sons obtinguts. S'ha agafat aquesta quantitat perquè s'ha observat que a partir de l'onzena, els decibels són tan baixos que les diferències no són tan apreciables i és per això que agafem la fonamental i deu harmònics més. Cada component del vector correspondrà al valor màxim en dB del fonamental i els harmònics corresponents.



Imatge 25: escala cromàtica

## 5.2 Mesura de semblança entre sons diferents

Per tal de mesurar la semblança entre dos sons diferents cal trobar un criteri de semblança entre els vectors associats a cada so, que descriuen un timbre. Com més s'assembli el so d'aquests vectors més petit serà l'angle que formarà entre si.

En el model matemàtic que utilitzem, el mòdul del vector va associat a l'amplitud del so i la direcció del vector va completament associada al timbre del so. Llavors busquem la mesura de l'angle, que aquesta serà més bona quan s'aproximi a zero perquè realment ens dona la diferència de direcció, i com que aquesta direcció va associada al timbre, es troba la diferència d'aquest, que és el que volem trobar.

Per saber l'angle que formen entre si el broquet respectiu amb el broquet original, utilitzarem el producte escalar:

---

<sup>7</sup> Escala cromàtica: és una escala integrada per dotze sons, que estan separats per una distància d'un semitò.

El producte escalar de dos vectors és una operació que a partir de dos vectors, calcula un numero real:  $|u \cdot v| = k$

Si coneixem els components dels dos vectors, per exemple, el nostre vector és d'11 components  $u=(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}, u_{11})$  i  $v=(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11})$

Llavors l'operació serà:

$$|u \cdot v| = u_1v_1 + u_2v_2 + u_3v_3 + u_4v_4 + u_5v_5 + u_6v_6 + u_7v_7 + u_8v_8 + u_9v_9 + u_{10}v_{10} + u_{11}v_{11}$$

El mòdul d'un vector és pot calcular com l'arrel quadrada del producte vectorial d'ell per ell mateix:

$$|u| = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2 + u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2}$$

Per altra banda sabem que el producte escalar també es pot calcular de la següent manera:

$$|u \cdot v| = |u| \cdot |v| \cdot \cos \alpha$$

Però en aquest cas volem saber l'angle, ja que el producte escalar i els seus mòduls els podem calcular, llavors podem aïllar l'angle per poder calcular-lo. S'ha utilitzat la formula següent:

$$|u \cdot v| = |u| \cdot |v| \cdot \cos \alpha \rightarrow \cos \alpha = \frac{|u \cdot v|}{|u| \cdot |v|} \rightarrow \alpha = \arccos \frac{|u \cdot v|}{|u| \cdot |v|}$$

D'aquesta manera per cada nota farem aquesta operació de càlcul de l'angle del vector del so en qüestió, amb el vector de referència, és a dir, amb el vector associat al so del broquet de metall. Per exemple, el Do del broquet PLA, el compararem amb el Do del broquet de metall i així amb els broquets dels altres materials.

Per tant, com ja he dit anteriorment, la mesura de l'angle que formen aquests vectors et dona una idea de com s'assemblen pel que fa al timbre del so, és per això, que com més petit és l'angle més s'assembla al broquet original. Serien dos vectors proporcionals aquells que formen un angle de zero entre si i es correspondrien a sons amb el mateix timbre, encara que poguessin tenir intensitats sonores diferents.

## 6. ANÀLISIS DEL SO DELS DIFERENTS BROQUETS

La intenció d'aquest punt és analitzar el so amb cada broquet fent una escala cromàtica amb la trompeta amb cada un dels broquets. Per analitzar aquest so es vol extreure l'espectre de freqüències de cada un dels sons. L'espectre de freqüències ens indicarà l'amplitud de cada un dels components freqüencials (fonamental i harmònics) de cada un dels sons.

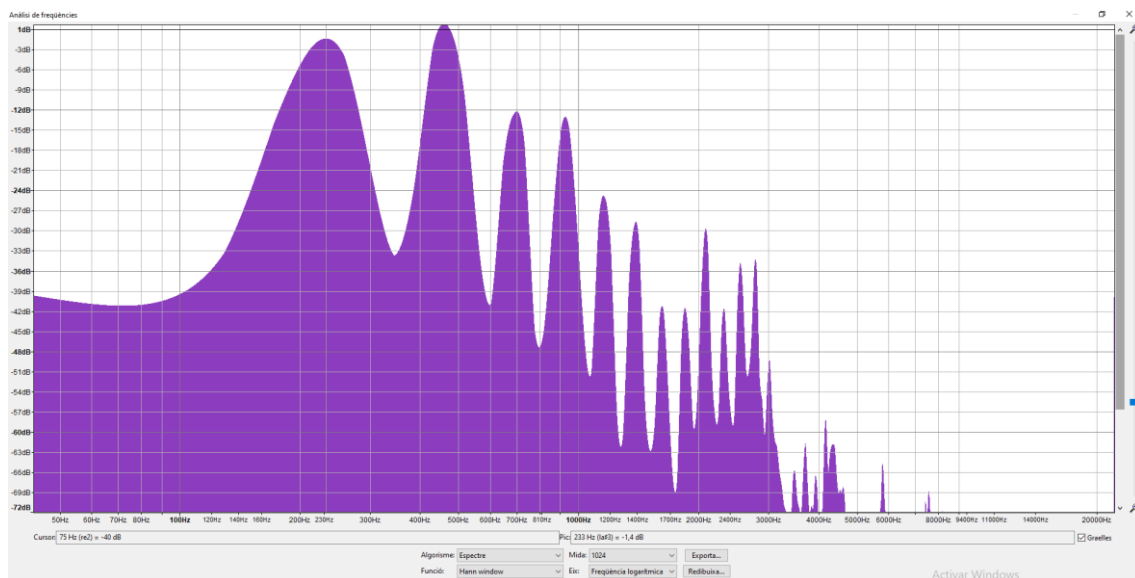
### 6.1 Anàlisi del so amb el broquet de metall

El broquet que es considera de referència per a un so "bo" és el broquet de metall, que és el broquet d'una trompeta professional.

S'han analitzat totes les notes de l'escala cromàtica, i a continuació es detallen els espectres de cada nota enregistrada a l'*audacity* i llavors es determina el vector associat a cada una de les notes, on cada component és la potència en dB dels harmònics.

A la següent imatge es pot veure l'espectre de la nota Do tocada amb el broquet de metall. La resta d'espectres de cada nota estan situats a l'annex.

Quan ja tenim l'espectre agafem els punts més alts de cada harmònic i li associem un vector. El vector d'aquest espectre és: (0, 1, -11, -12, -24, -28, -40, -41, -29, -41, -36)

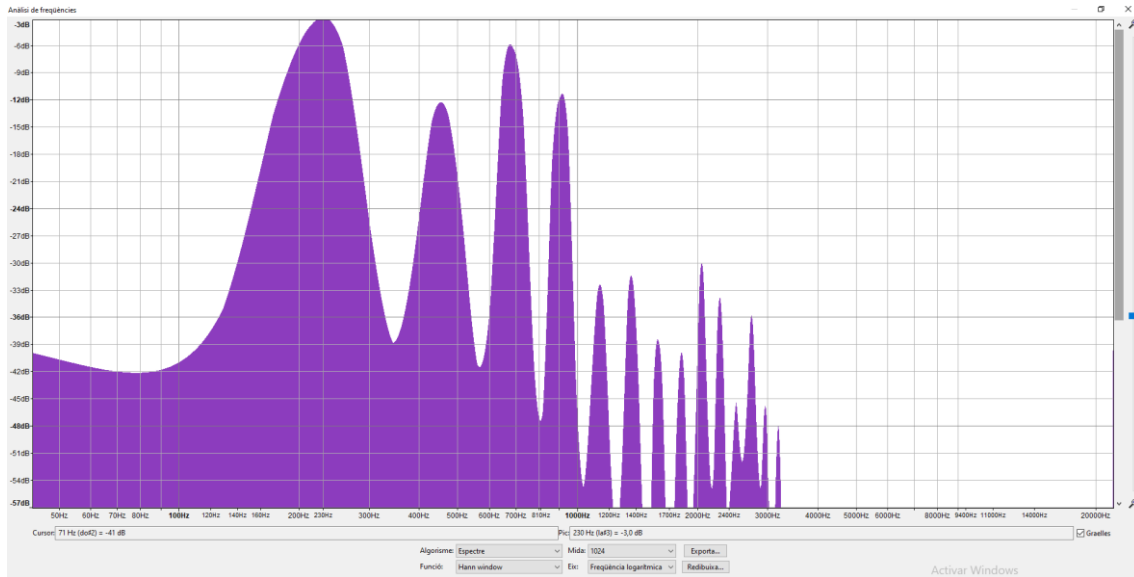


Imatge 26: Espectre del broquet de metall quan toca la nota Do

## 6.2 Anàlisi del so dels broquets fets per impressió 3D

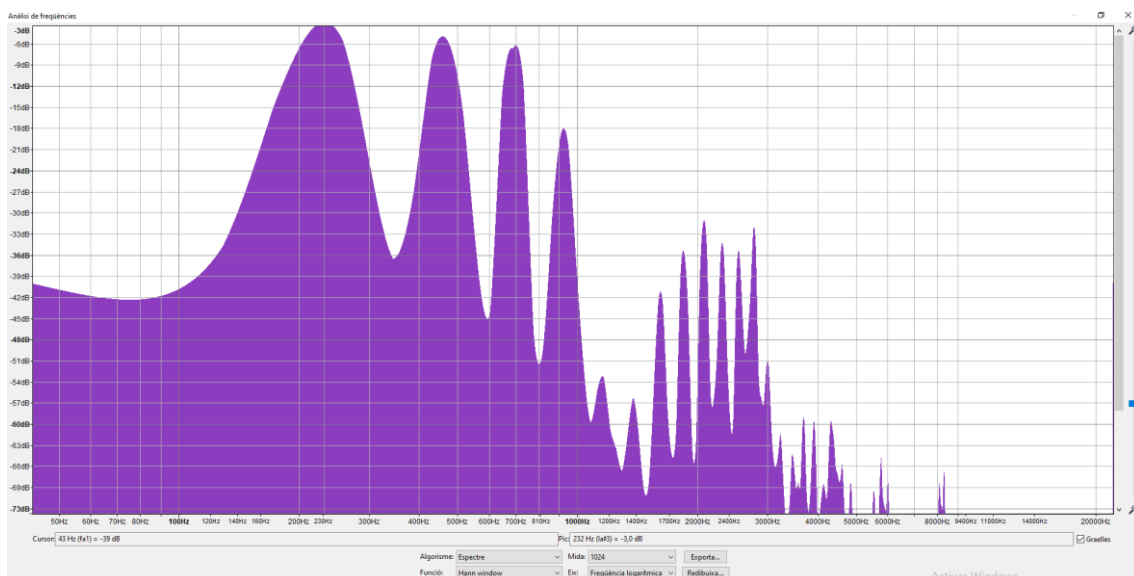
Com hem comentat abans, els espectres de cada nota estan adjunts a l'annex i en les següents imatges 27, 28 i 29 es veuen uns exemples dels espectres dels broquets fets per impressió 3D quan estan tocant la nota Do.

L'espectre del broquet de plàstic PLA té com a vector: (3, -12, -5, -10, -31, -30, -37, -39, -30, -33, -44) agafant els seus punts més alts de cada harmònic.



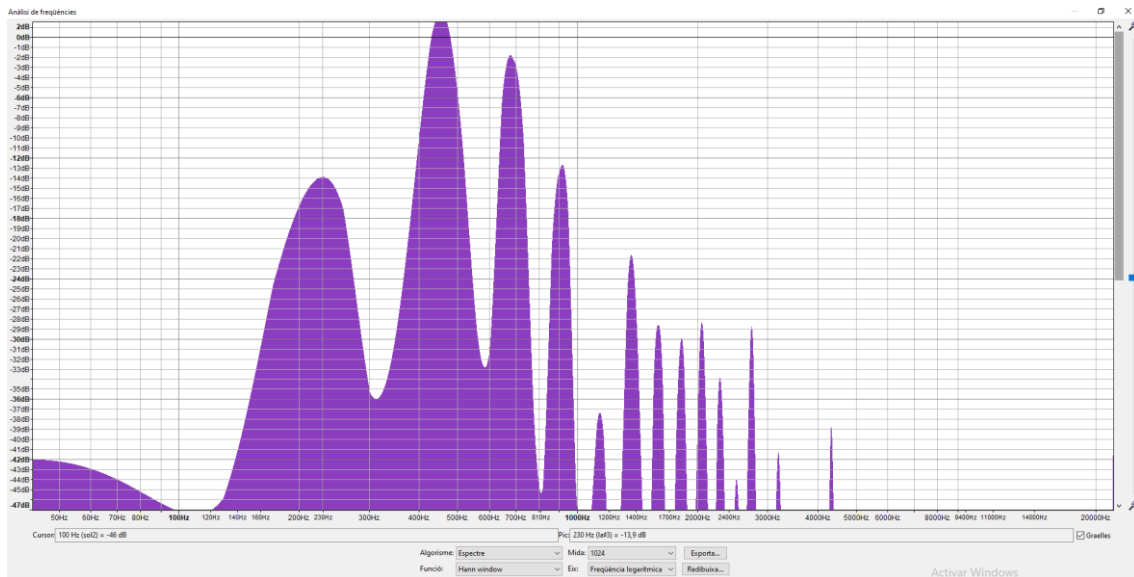
**Imatge 27:** Espectre del broquet de plàstic PLA quan toca la nota Do

L'espectre del broquet de plàstic PLA massís té com a vector: (0, -4, -5, -17, -50, -57, -40, -34, -30, -32, -35) agafant els dB de cada punta de cada harmònic.



**Imatge 28:** Espectre del broquet de plàstic PLA massís quan toca la nota Do

Per últim, l'espectre del broquet de resina té com a vector: (-14, 2,-1,-12,-36,- 21,-28,-29,-27,-33,-43). Agafant els seus respectius dB de cada harmònic.



**Imatge 29:** Espectre del broquet de resina quan toca la nota Do

Com es pot veure s'aprecien diferències entre les característiques sonores de cada broquet amb la mateixa nota, aquestes diferències son les que fan que notem un so diferent de l'altre.

### 6.3 Comparació

Com ja s'ha explicat abans, es quantificarà la diferència entre els diferents sons a partir de la fórmula que mesura l'angle entre els dos vectors, el de referència i el de so en qüestió.

A continuació es mostra una taula de cada una de les notes de l'escala cromàtica amb cada un dels tres broquets impresos en 3D, l'angle d'aquests respecte al vector del so de la mateixa nota amb el broquet de metall.

**Taula 3:** Producte escalar de cada nota

Nota	Broquet	Vector	Angle
Do	Metall	(0, 1, -11, -12, -24, -28, -40, -41, -29, -41, -36)	0°
	PLA	(3, -12, -5, -10, -31, -30, -37, -39, -30,-33,-44)	12,81°
	PLA massís	(0, -4, -5, -17, -50, -57, -40, -34, -30, -32, -35)	20,72°
	Resina	(-14, 2, -1, -12, -36, -21,-28, -29, -27, -33,-43)	16,77°
Do#	Metall	(-21, 6, -8, -17, -25, -30, -34, -43, -40,-38,-37)	0°
	PLA	(-18, 4,-7,-15, -29, -34, -37, -32, -33, -36, -35)	8,48°
	PLA massís	(-18, 3,-11,-12,-21,-29, -36, -32, -31, -36, -37)	8,02°
	Resina	(-22, 3, -7,-13, -33,-38, -32,-28, -34,-35, -32)	12,14°
Re	Metall	(-10, 4, -15, -18, -28, -29,-33,-33,-31,-34,-40)	0°
	PLA	(-12, 5, -7, -13, -40, -24, -34,-36,-28,-35,-41)	3,62°

	PLA massís	(-10, 4,-5, -16,-27, -21, -19, -24, -32, -27, -49)	13,54º
	Resina	(-23, 6, -13,-16, -22,-21, -29,-24, -27,-22, -40)	12,02º
Re#	Metall	(-14, 3, -13, -30, -25, -22, -22,-25,-29,-27,-34)	0º
	PLA	(-15,7,-29,-29,-24, -14, -25, -34, -35, -23, -34)	14,42º
	PLA massís	(-14,7,-19,-20,-23, -25, -30, -38, -37, -30, -38)	11,60º
	Resina	(-13, 6, -12,-34, -26,-26, -26,-39, -38,-33, -33)	7,38º
Mi	Metall	(-29, 6, -24,-24,-27,-14,-24, -30, -25, -21, -38)	0º
	PLA	(-27, 7,-29,-29,-24,-14, -25, -34, -35, -23, -34)	8,64º
	PLA massís	(-18, 7, -19, -20, -23, -25, -30,-38,-37,-30,-38)	15,60º
	Resina	(-19, 6, -12,-34, -26,-26, -26,-39, -38,-33, -33)	18,31º
Fa	Metall	(-5, 1,-13,-22, -18, -26, -29, -30, -21, -39, -46)	0º
	PLA	(-10, 5, -11, -27, -19, -36,-26,-28,-20,-31,-38)	12º
	PLA massís	(-2, 0,-10,-20, -22, -29, -27, -33, -24, -45, -48)	5,56º
	Resina	(-5, 3, -13,-28, -23,-28, -23,-25, -38,-35, -41)	14,04º
Fa#	Metall	(-1, 5, -7, -13, -15, -21, -24, -22, -36, -39, -37)	0º
	PLA	(3, 2, -5, -21, -21, -27, -22, -34, -34, -38, -35)	11,96º
	PLA massís	(2, 4, -5, -21, -19, -26, -21, -35, -25, -30, -37)	16,41º
	Resina	(1, 2, -11, -25, -22, -23, -23,-38, -31,-37, -32)	15,87º
Sol	Metall	(3, 1,-10, -19, -24, -35, -25, -21, -28, -29, -31)	0º
	PLA	(4, 0, -9, -19, -22, -22, -34, -22, -33, -36, -45)	7,27º
	PLA massís	(4, 0, -9, -20, -25, -20, -30, -21, -34, -39, -42)	10,59º
	Resina	(3, 1, -7, -27, -25, -17, -33, -15, -33, -34,-31)	11,48º
Sol#	Metall	(5, 0,-14, -20, -26, -21, -33, -31, -36, -36, -42)	0º
	PLA	(4,0,-15, -28, -31, -24, -30, -34, -42, -37, -38)	7,27º
	PLA massís	(4,0,-20, -28, -21, -27, -26, -31, -44, -35, -38)	10,59º
	Resina	(3, 1, -11, -35, -25, -24, -30, -38, -38, -34, -36)	11,48º
La	Metall	(6, -2, -9, -15, -33, -20, -16, -31, -30, -32, -30)	0º
	PLA	(8, -7,-8, -14, -34, -24, -23, -28, -27, -32, -27)	13,41º
	PLA massís	(6, 0, -8, -16, -17, -29, -17, -26, -29, -38, -37)	15,80º
	Resina	(6, -4, -8, -13, -24, -28, -24, -25, -31, -39, -33)	12,71º
La#	Metall	(7, -16,-15,-19,-25,-33, -33, -27, -39, -39, -43)	0º
	PLA	(6, -19, -24,-18, -16, -24, -39, -32,-28,-34,-40)	12,81º
	PLA massís	(7, -19, -8,-19,-23, -26, -24, -28, -34, -32, -35)	7,45º
	Resina	(7, -13, -10,-22, -27,-29, -35,-34, -34,-40, -35)	8,47º
Si	Metall	(7, -18, -11,-20,-18,-33,-32, -28, -31, -42, -43)	0º
	PLA	(7, -27, -17,-25,-18,-35,-39,-36, -37, -49, -38)	8,18º
	PLA massís	(6, -12,-37,-21,-16,-23, -33, -33, -42, -31, -40)	20,02º
	Resina	(6, -20, -21,-21, -20,-27, -32,-31, -42,-43, -41)	9,64º

Com ja s'ha explicat, les components d'aquests vectors s'han extret del gràfic de l'espectre proporcionat per l'*audacity*.

A aquesta taula es pot veure com per a algunes notes dona un angle més petit un broquet i que per altres notes dona un angle més petit un altre broquet. Llavors per saber quin s'assembla més s'haurà de trobar quin broquet dona l'angle més petit en mitjana aritmètica sobre tots els angles de les notes de l'escala cromàtica.

Broquets impresos en 3D	Mitjana dels angles
PLA	10'70°
PLA massís	13,35°
Resina	13°

Com es pot veure la mitjana que correspon a un angle menor amb el broquet de metall és el de broquet de PLA i això significa que és més semblant a ell.

## 7. ESTUDI ECONÒMIC

En aquest punt es valorarà els preus de cada broquet dependent del material utilitzat, per poder veure si es més convenient seguir amb el broquet de metall o un dels nous broquets impresos en 3D ja que tenen la mateixa utilitat però a un preu més raonable.

Taula 4: Comparació dels preus dels broquets i la variació percentual

Broquet	Preu mig sense IVA	Variació percentual respecte el broquet de metall
Broquet de metall	56€	_____
Broquet de plàstic PLA	3€	-94,64%
Broquet de plàstic PLA massís	4€	-92,86%
Broquet de resina	8,5€	-84,82%

Com veiem, la diferència de preu és molt elevada respecte al broquet de metall. El broquet que s'ajusta més al so, és el de plàstic, amb una diferència de preu del 94,64% menys.

El fet que tingui un preu tan reduït i el so s'ajusti força al real pot tenir moltes aplicacions, com per exemple:

- En l'àmbit de la docència, el broquet pot ser utilitzat per introduir la trompeta a les escoles de música pels nens que s'inicien. Els alumnes poden tenir un broquet sense la necessitat de fer una despesa considerable i sense haver d'intercanviar-lo en altres.
- A les escoles per apropar diversos instruments als alumnes i que no sigui únicament la flauta dolça. Els centres podrien fer una inversió de varies trompetes i que cada nen és comprès un broquet de plàstic perquè puguin practicar el so individualment.
- Parlant de la impressió 3D els broquets poden tindre un aspecte més atractiu pels nens, ja que poden ser impresos en diferents colors al mateix preu.

## 8. CONCLUSIONS

---

Per acabar, veurem si s'han complert les hipòtesis plantejades a l'inici.

La primera, en la que es plantejava que el disseny serà fàcil, ja que s'agafaven les mesures del broquet original, no s'ha complert, ja que no ha estat fàcil el disseny del broquet perquè s'ha de dominar els programes que s'han utilitzat. Però dedicant temps s'ha pogut complir l'objectiu de fer el disseny. Com més utilitzava el programa, més facilitat tenia per rectificar els errors i obtenia més motivació per continuar.

En la segona hipòtesi on s'esperava que el so del broquet imprès en 3D seria diferent del so d'un broquet de metall, s'ha pogut descobrir que la diferència de so no és tan diferent. La qual cosa m'ha despertat l'interès per dissenyar tota la trompeta en 3D i comparar-la amb la trompeta de metall. Cosa que no descarto fer en un futur.

La tercera hipòtesi on es va dir que havia de ser possible fer un model matemàtic que permetis analitzar el so que fa una trompeta amb diferents broquets, ha sigut possible, ja que gràcies al producte escalar s'ha pogut veure les seves diferències i amb la mitjana aritmètica s'ha decidit quin dels tres broquets impresos en 3D era el més semblant. El més semblant ha sigut el broquet fet amb PLA.

La quarta hipòtesi en la qual es plantejava que la impressió 3D seria més barata que comprar un broquet de metall, és correcta, ja que els materials utilitzats són més barats. El més barat ha sigut el de PLA a comparació dels tres broquets impresos en 3D. Per tant es poden utilitzar per estudiants en fase d'iniciació a l'instrument sense tenir por a perdre'ls.

Per últim, la cinquena hipòtesis on es va dir que el material que sonaria millor dels utilitzats seria el de resina per les seves característiques ha estat incorrecta. M'ha sorprès molt aquest fet, ja que pensava que per ser un material amb acabat llis i bons detalls sonaria més semblant al broquet de metall. Després de l'anàlisi he comprovat que el que té el so més semblant és el de plàstic PLA.

Personalment aquest treball m'ha permès conèixer el disseny i les aplicacions que té la impressió 3D. Un camp de futur que m'ha obert un possible estudi d'enginyeria.

## WEBGRAFIA

---

Es.wikipedia.org. (2020). *Impresora 3D*. [en línia] disponible a internet: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Impresora\\_3D](https://es.wikipedia.org/wiki/Impresora_3D)> [consultada el 19 de juliol de 2020].

Impresorad3d.com. (2019). ▷ *Impresión 3D: Origen, Historia Y Evolución | Impresora D3D*. [en línia] Disponible a internet: <<http://impresorad3d.com/impresoras-3d-historia/>> [consultada el 20 de juliol de 2020]

Digital Trends Español. (2018). *Historia De La Impresión En 3D Contada En Unos Poco Hitos | Digital Trends Español*. [en línia] Disponible a internet: <<https://es.digitaltrends.com/fotografia/historia-de-la-impresion-en-3d/>> [consultada el 20 de juliol del 2020].

impresoras3d.com. (2017). *Tipos De Impresoras 3D - Impresoras3d.Com*. [en línia] Disponible a internet: <<https://www.impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>> [consultada el 6 d'agost del 2020].

Hxx (2014). *Tecnologías De Impresión 3D (II): Inyección De Material | HXX*. [en línia] Disponible a internet: <<http://hxx.es/2014/12/13/tecnologias-de-impresion-3d-ii-inyeccion-de-material/>> [Consultada el 6 d'agost del 2020].

All3DP. (2020). *Los 11 Tipos De Impresoras – Guía 2020 | All3dp*. [en línia] Disponible a internet: <<https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>> [Consultada el 6 d'agost de 2020].

Formlabs. (2020). *SLA O DLP: Guía Comparativa De Impresoras 3D De Resina (Edición 2020)*. [en línia] Disponible a internet: <<https://formlabs.com/es/blog/comparacion-impresoras-3d-resina-sla-dlp/>> [Consultada el 6 d'agost del 2020].

3Dnatives. (2020). *Guía Completa: Plásticos En La Impresión 3D - 3Dnatives*. [en línia] Disponible a internet: <<https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>> [Consultada el 22 d'agost del 2020].

Mexpolimeros. (2018). *ASA Acrilonitrilo-Estireno-Acrilato-Nitrilo*. [en línia] Disponible a internet: <<https://www.mexpolimeros.com/asa.html>> [Consultada el 22 d'agost del 2020].

Tresdpro. (2019). *Materiales Para Impresoras 3D ▷ La Guía Mas Completa ? [2019]*. [en línia] Disponible a internet: <<https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/>> [Consultada el 2 de setembre del 2020]

impresoras3d.com. (2018). *Guía Definitiva Sobre Distintos Filamentos Para Impresión 3D - Impresoras3d.Com*. [en línea] Disponible a internet: <<https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>> [Consultada el 29 de setembre del 2020].

ASALE, R., 2020. *Trompeta | Diccionario De La Lengua Española*. [en línea] «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Disponible a internet: <<https://dle.rae.es/trompeta>> [Consultada el 30 de noviembre del 2020].

Ibarra, L. (2020). *Conversaciones En Línea | Blog De Tecnología*. [en línea] Blogs.laprensagrafica.com. Disponible a internet: <<http://blogs.laprensagrafica.com/litoibarra/>> [Consultada el 17 de noviembre del 2020].

Busquets, J. (2011). *La Trompeta*. [en línea] Slideshare.net. Disponible a internet: <<https://www.slideshare.net/ntpallau/la-trompeta-8001688>> [Consultada el 17 de noviembre del 2020].

Sofía Rivera, A., (2019). *Todas Las PARTES De La TROMPETA - ¡¡RESUMEN + IMÁGENES!!*. [online] unprofesor.com. Disponible a internet: <<https://www.unprofesor.com/musica/partes-de-la-trompeta-3739.html>> [Consultada el 17 de noviembre del 2020].

Es.wikipedia.org. (2020). *Boquilla (Viento-Metal)*. [en línea] Available at: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Boquilla\\_\(viento-metal\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Boquilla_(viento-metal))> [Consultada el 19 de noviembre del 2020].

Romero, W., (2009). *LA BOQUILLA Y SUS PARTES*. [en línea] Wernermusic.blogspot.com. Disponible a internet: <<http://wernermusic.blogspot.com/2009/08/la-boquilla-y-sus-partes.html>> [Consultada el 19 de noviembre del 2020].

Naranjo, I., (n.d.) ▷ *Cómo SOPLAR La TROMPETA* 🎺 | *Aprende A Sonar Correctamente*. [en línea] Aprende Trompeta. Disponible a internet: <<https://www.aprendetrompeta.com/como-soplar-la-trompeta/>> [Consultada el 6 de diciembre del 2020].

Es.wikihow.com. (n.d). *Cómo Tocar La Trompeta (Con Imágenes) - Wikihow*. [en línea] Disponible a internet: <<https://es.wikihow.com/tocar-la-trompeta>> [Consultada el 6 de diciembre del 2020].

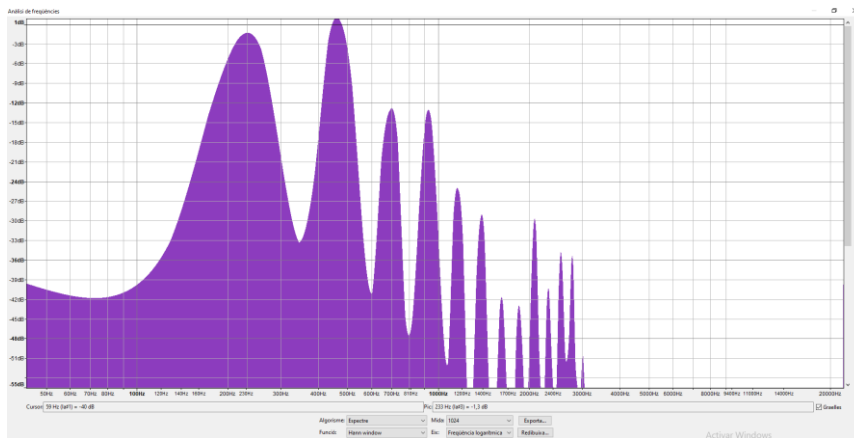
Lorenzo, J., (2020). *Mis 10 Programas De Diseño 3D Favoritos [Noviembre 2020]*. [en línea] Of3lia. Disponible a internet: <<https://of3lia.com/mejores-programas-diseno-3d/>> [Consultada el 7 de diciembre de 2020].

Xtec.cat. (n.d). *El So.* [en línia] Disponible a internet:  
<[http://www.xtec.cat/~sgirones/elso/el\\_so.htm](http://www.xtec.cat/~sgirones/elso/el_so.htm)> [Consultada el 28 de desembre de 2020].

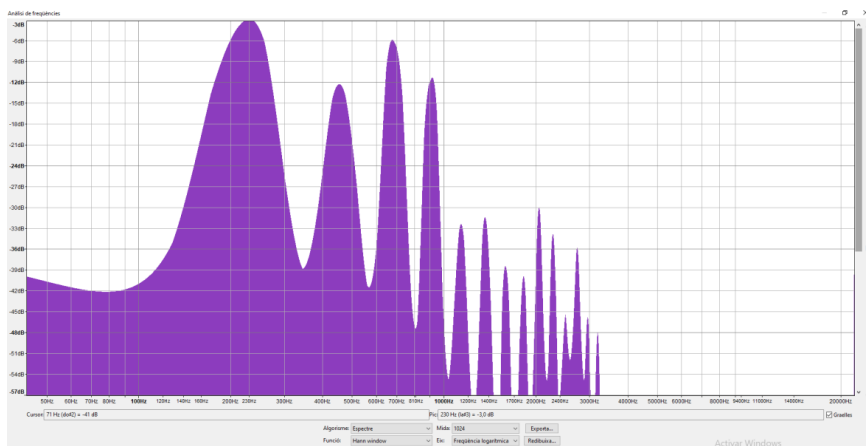
Baltokien. (2016). *Profesdeciençies.* [en línia] Disponible a internet:  
<<https://profesdeciençies.net/material/eso/2n-eso-ciencies-de-la-natura/tema-8-el-so/>>  
[Consultada el 28 de desembre de 2020].

# ANNEX

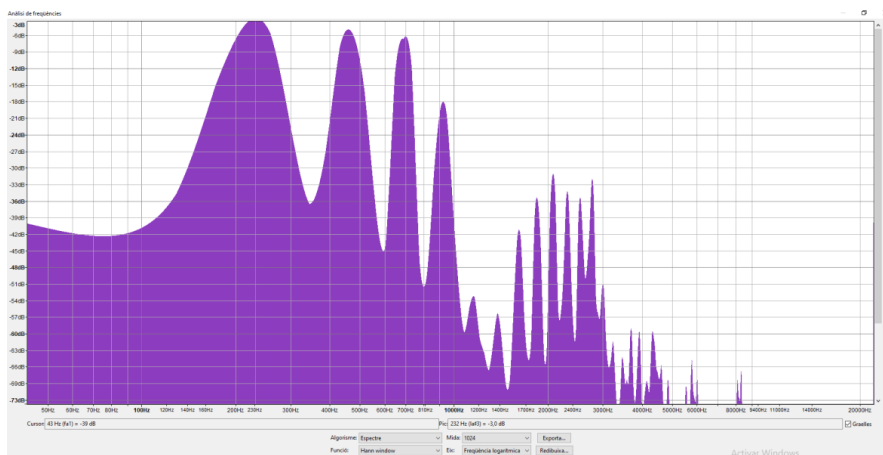
Broquet de metall, nota Do Vector (0, 1, -11, -12, -24, -28, -40, -41, -29, -41, -36)



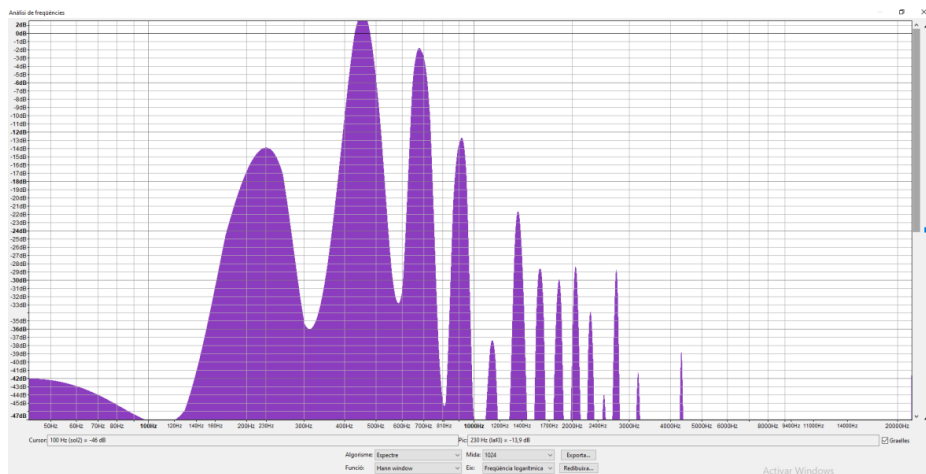
Broquet de PLA, nota Do. Vector (3, -12, -5, -10, -31, -30, -37, -39, -30, -33, -44)



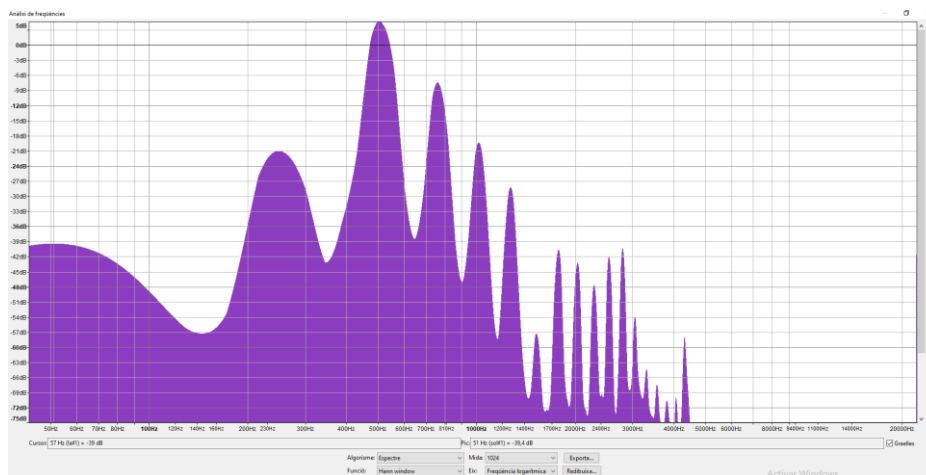
Broquet de PLA massís, nota Do. Vector (0, -4, -5, -17, -50, -57, -40, -34, -30, -32, -35)



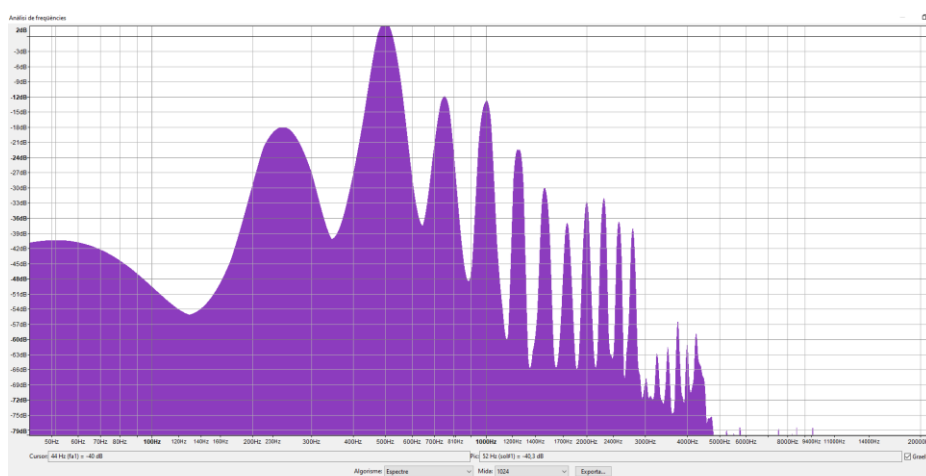
Broquet de resina, nota Do. Vector (-14, 2, -1, -12, -36, -21,-28, -29, -27, -33,-43)



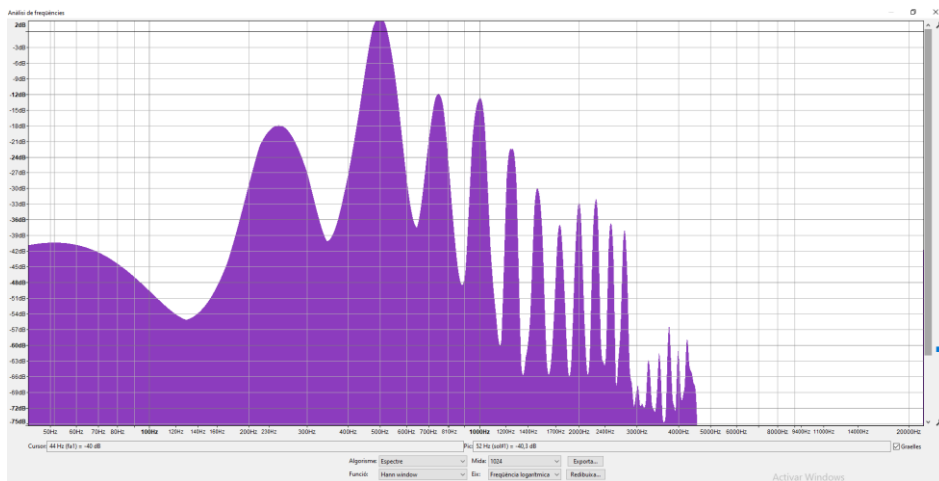
Broquet de metall, nota Do#. Vector (-21, 6, -8, -17, -25, -30, -34, -43, -40,-38,-37)



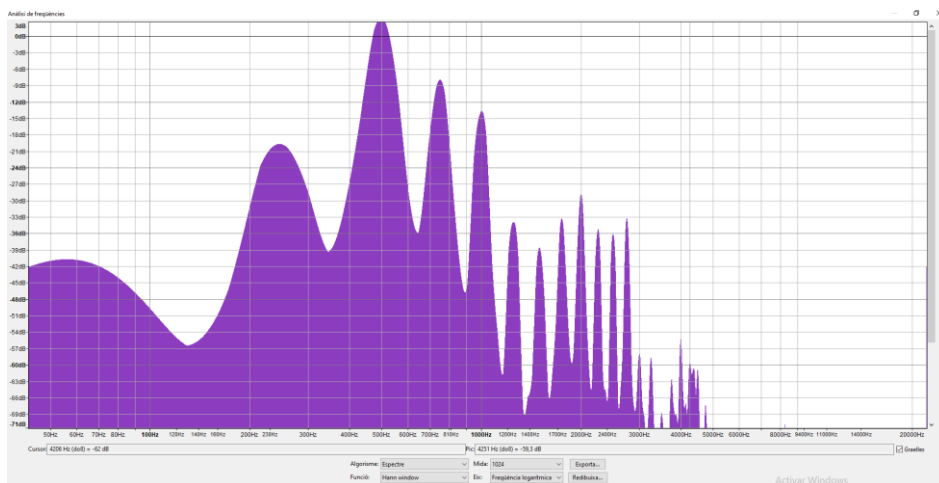
Broquet de PLA, nota Do#. Vector (-18, 4,-7,-15, -29, -34, -37, -32, -33, -36, -35)



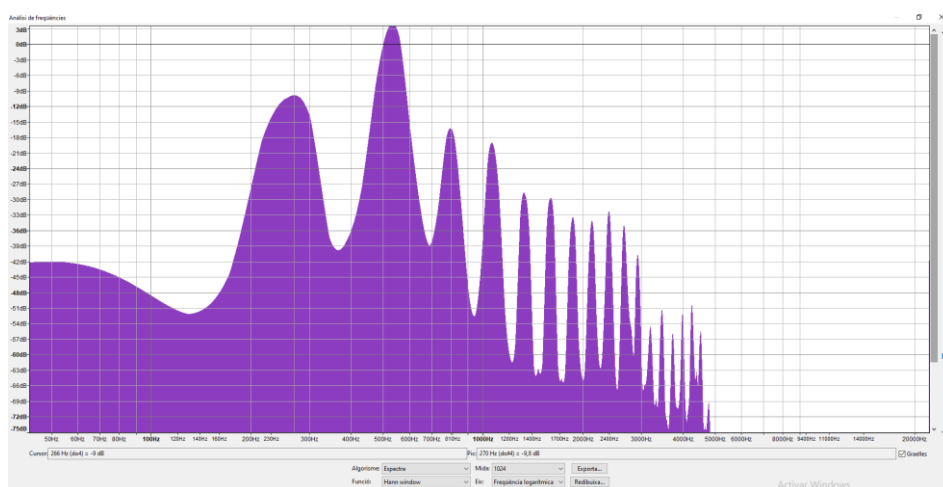
Broquet de PLA massís, nota Do#. Vector (-18, 3,-11,-12,-21,-29, -36, -32, -31, -36, -37)



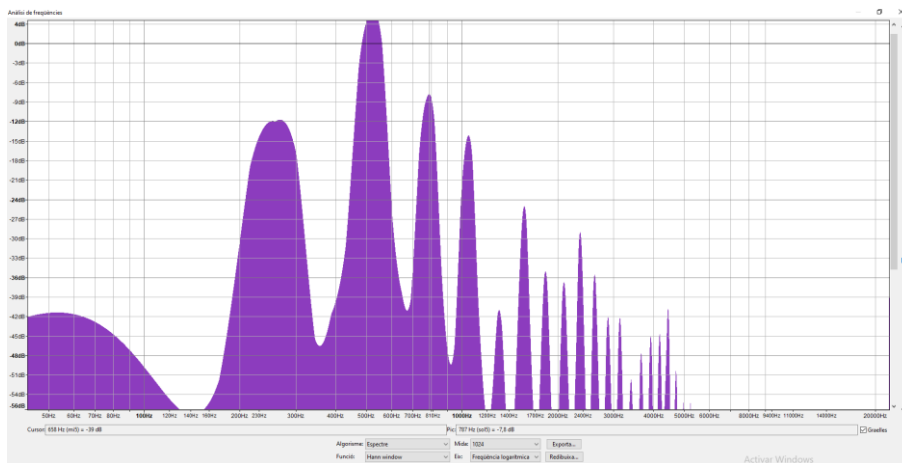
Broquet de resina, nota Do#. Vector (-22, 3, -7,-13, -33,-38, -32,-28, -34,-35, -32)



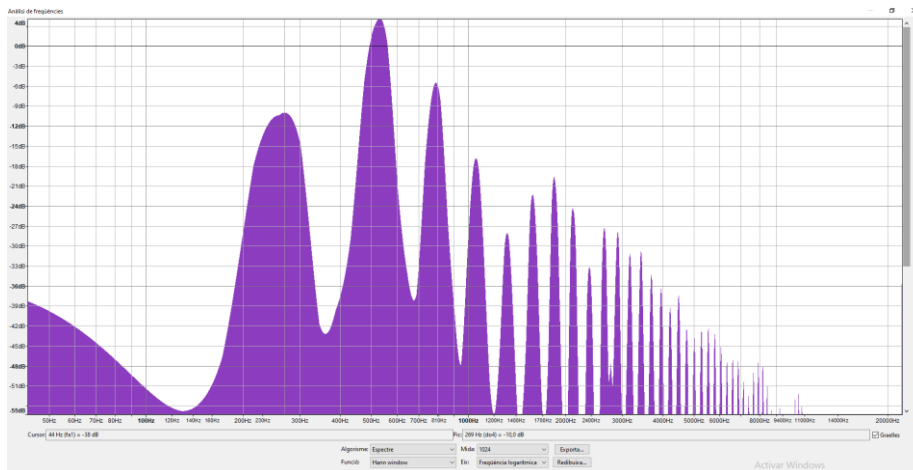
Broquet de metall, nota Re. Vector (-10, 4, -15, -18, -28, -29,-33,-33,-31,-34,-40)



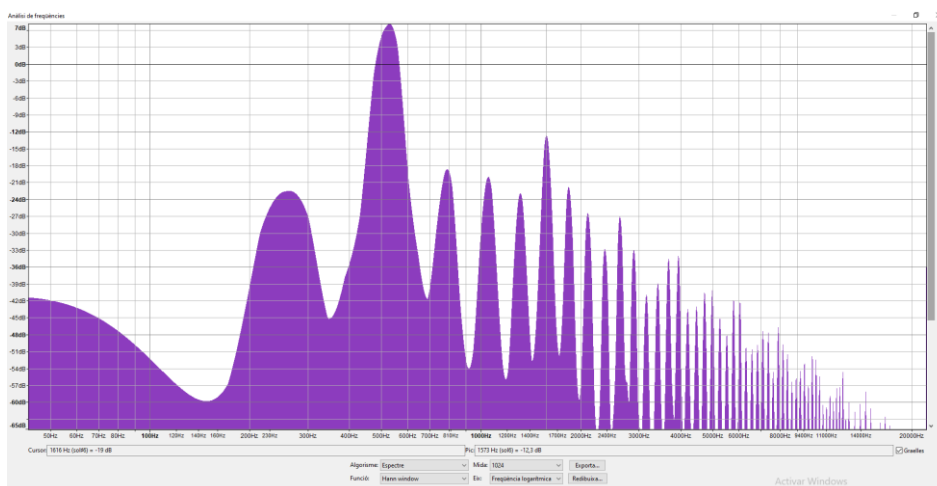
Broquet de PLA, nota Re. Vector (-12, 5, -7, -13, -40, -24, -34,-36,-28,-35,-41)



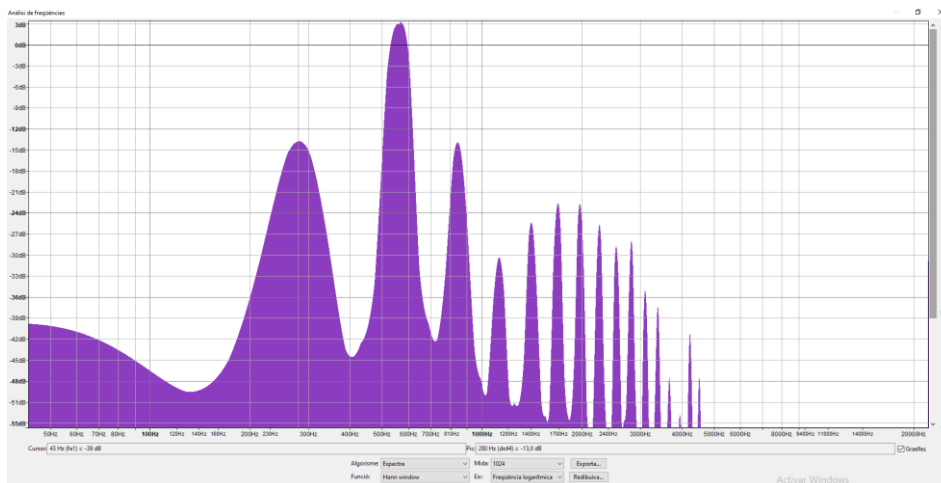
Broquet de PLA massís, nota Re. Vector (-10, 4,-5, -16,-27, -21, -19, -24, -32, -27, -49)



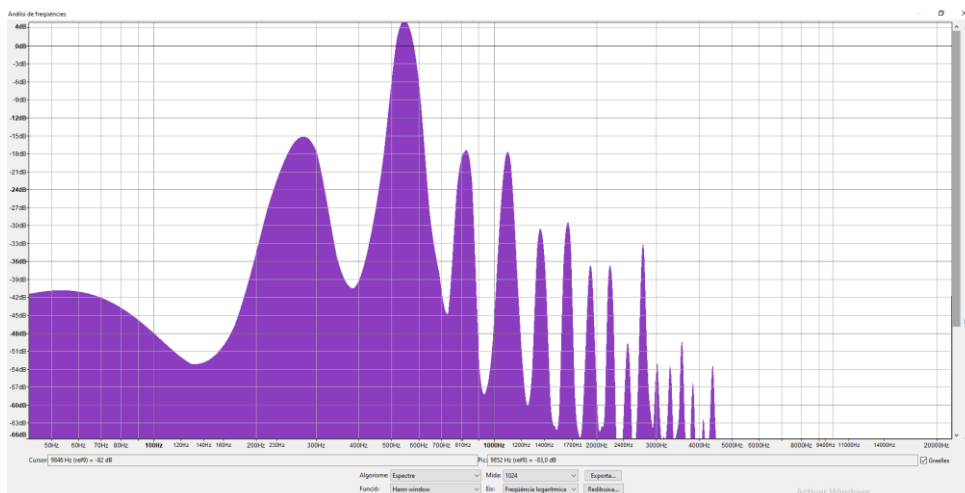
Broquet de resina, nota Re. Vector (-23, 6, -13,-16, -22,-21, -29,-24, -27,-22, -40)



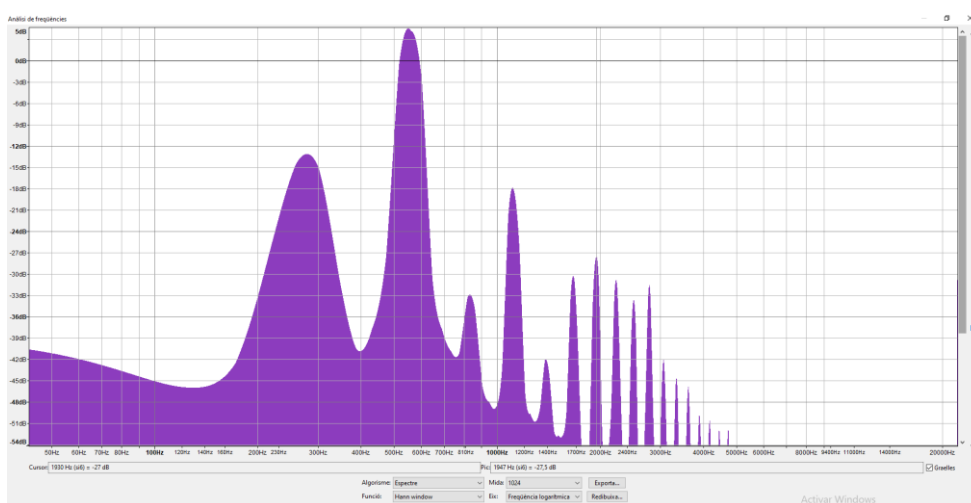
Broquet de metall, nota Re#. Vector (-14, 3, -13, -30, -25, -22, -22,-25,-29,-27,-34)



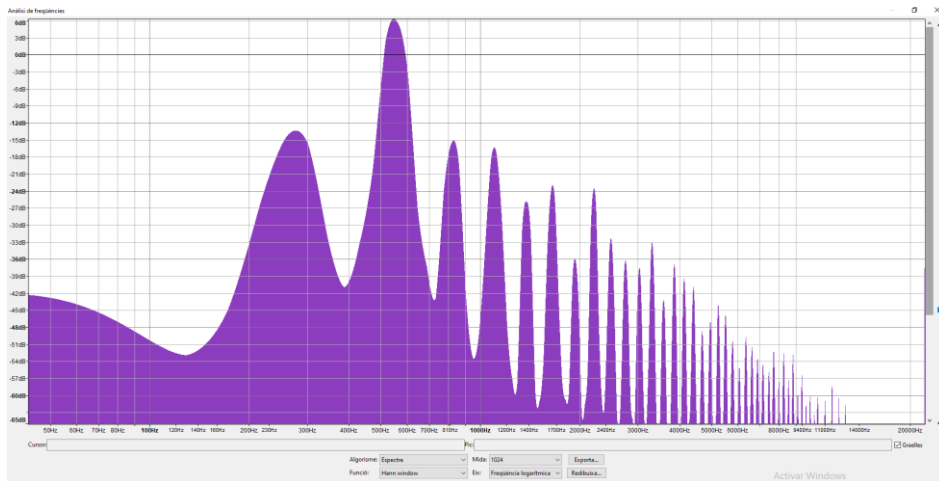
Broquet de PLA, nota Re#. Vector (-15,7,-29,-29,-24, -14, -25, -34, -35, -23, -34)



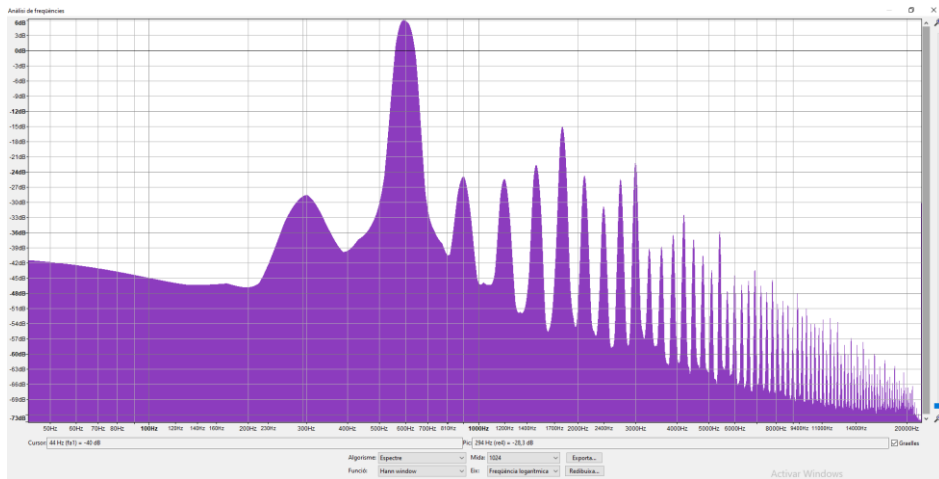
Broquet de PLA massís, nota Re#. Vector (-14,7,-19,-20,-23, -25, -30, -38, -37, -30, -38)



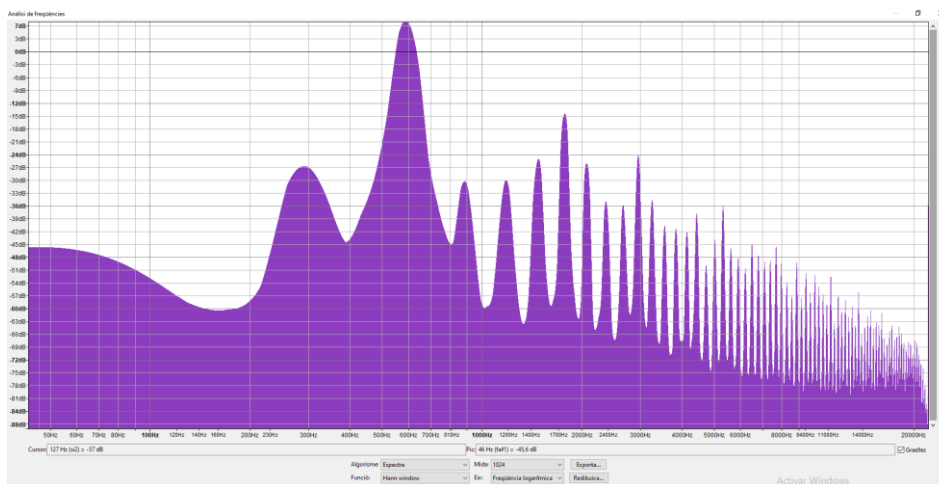
Broquet de resina, nota Re#. Vector (-13, 6, -12,-34, -26,-26, -26,-39, -38,-33, -33)



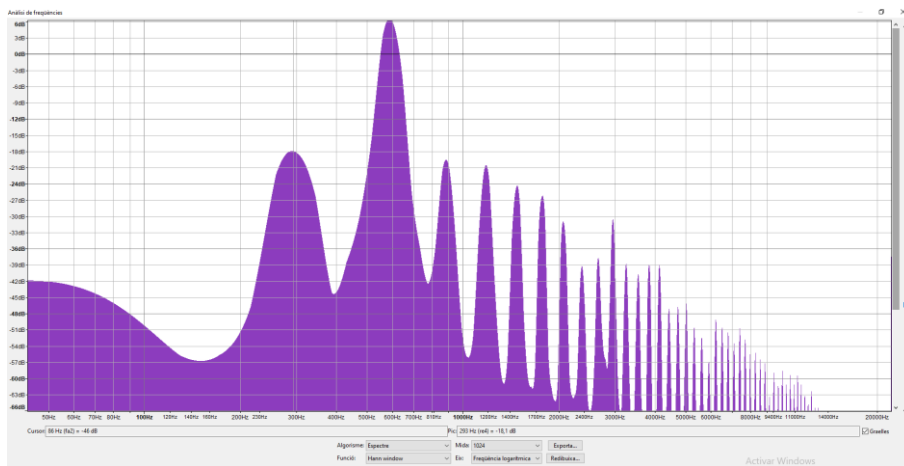
Broquet de metall, nota Mi. Vector (-29, 6, -24,-24,-27,-14,-24, -30, -25, -21, -38)



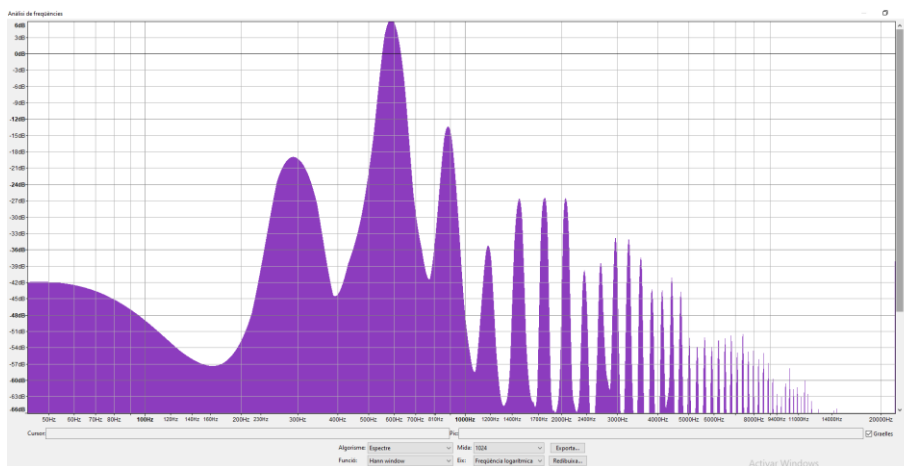
Broquet de PLA, nota Mi. Vector (-27, 7,-29,-29,-24,-14, -25, -34, -35, -23, -34)



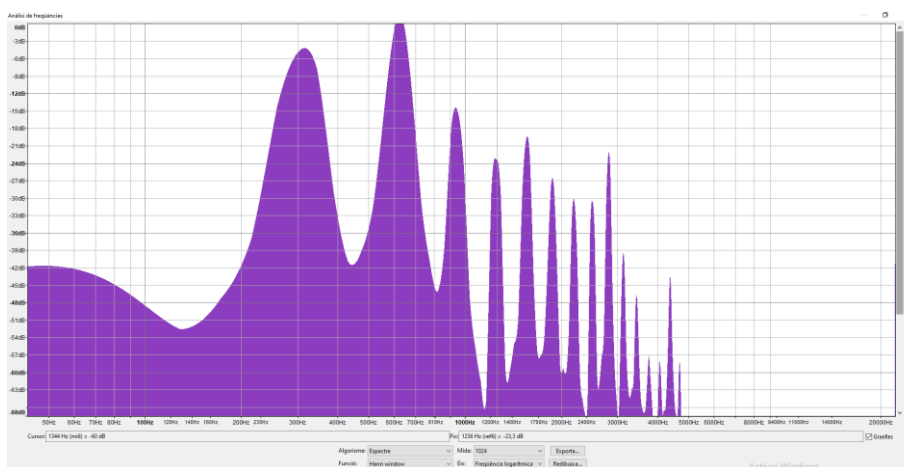
Broquet de PLA massís, nota Mi. Vector (-18, 7, -19, -20, -23, -25, -30,-38,-37,-30,-38)



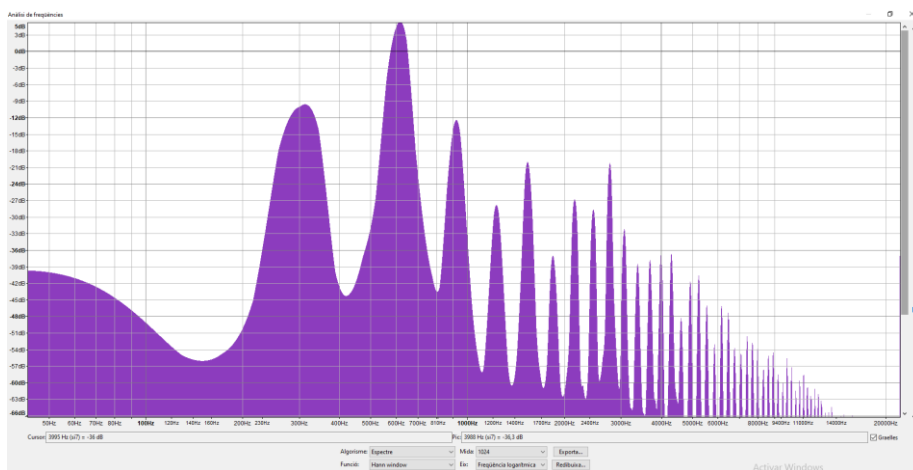
Broquet de resina, nota Mi. Vector (-19, 6, -12,-34, -26,-26, -26,-39, -38,-33, -33)



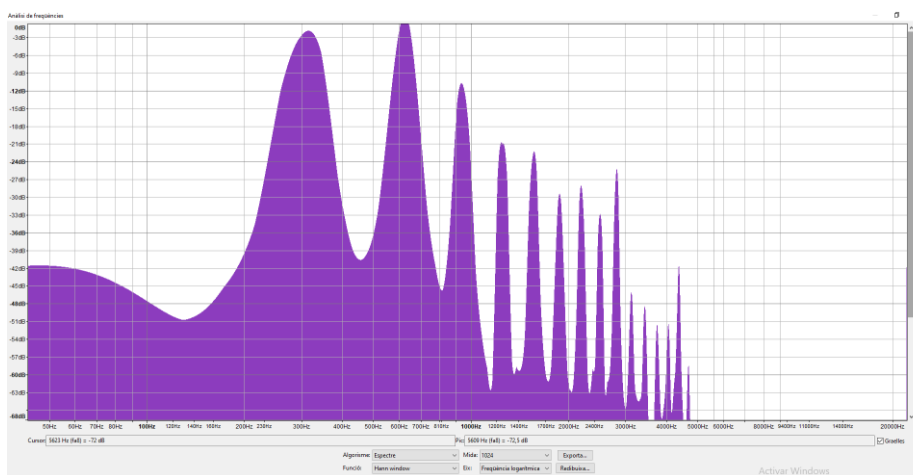
Broquet de metall, nota Fa. Vector (-5, 1,-13,-22, -18, -26, -29, -30, -21, -39, -46)



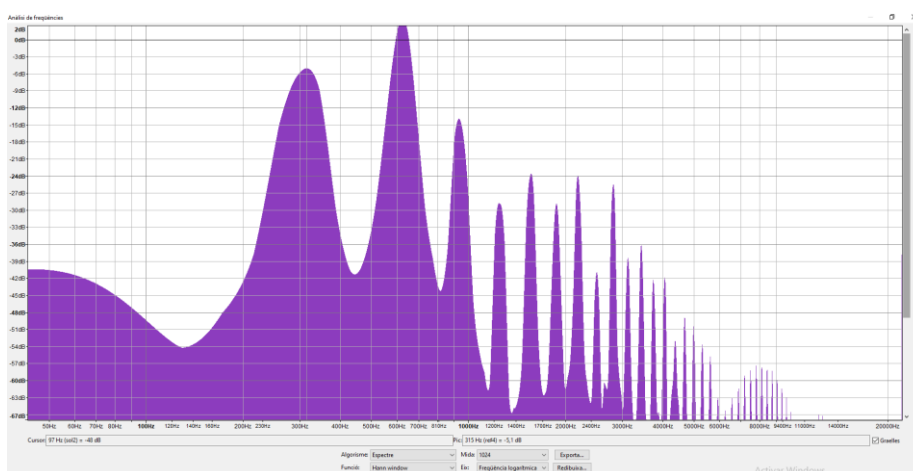
Broquet de PLA, nota Fa. Vector (-10, 5, -11, -27, -19, -36,-26,-28,-20,-31,-38)



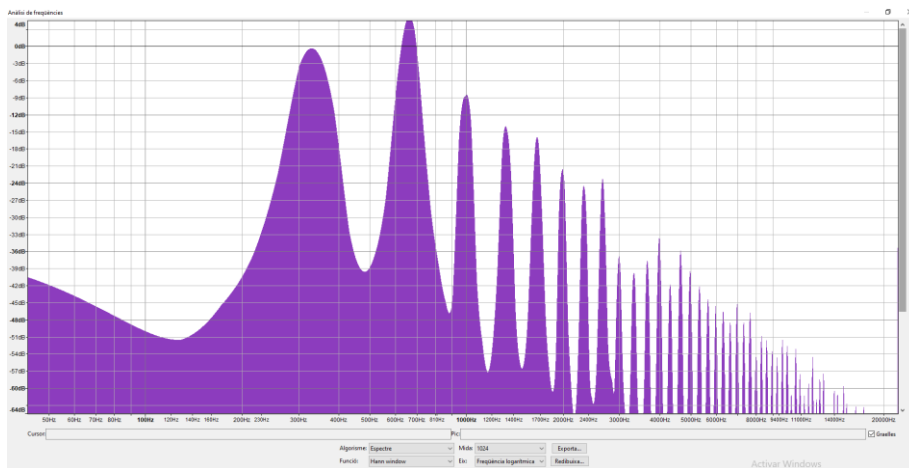
Broquet de PLA massís, nota Fa. Vector (-2, 0,-10,-20, -22, -29, -27, -33, -24, -45, -48)



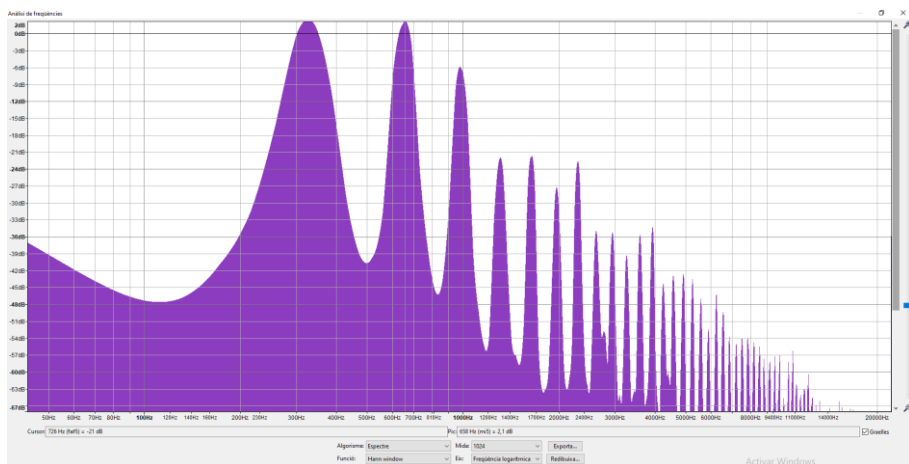
Broquet de resina, nota Fa. Vector (-5, 3, -13,-28, -23,-28, -23,-25, -38,-35, -41)



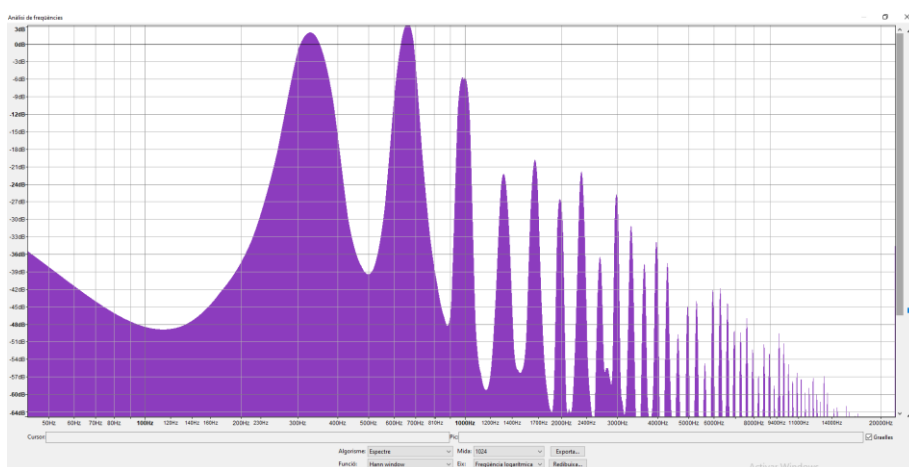
Broquet de metall, nota Fa#. Vector (-1, 5, -7, -13, -15, -21, -24, -22, -36, -39, -37)



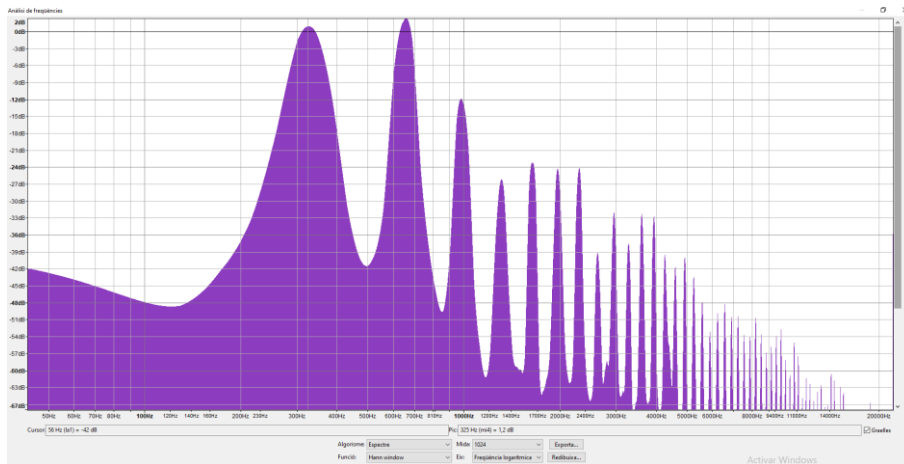
Broquet de PLA, nota Fa#. Vector (3, 2, -5, -21, -21, -27, -22, -34, -34, -38, -35)



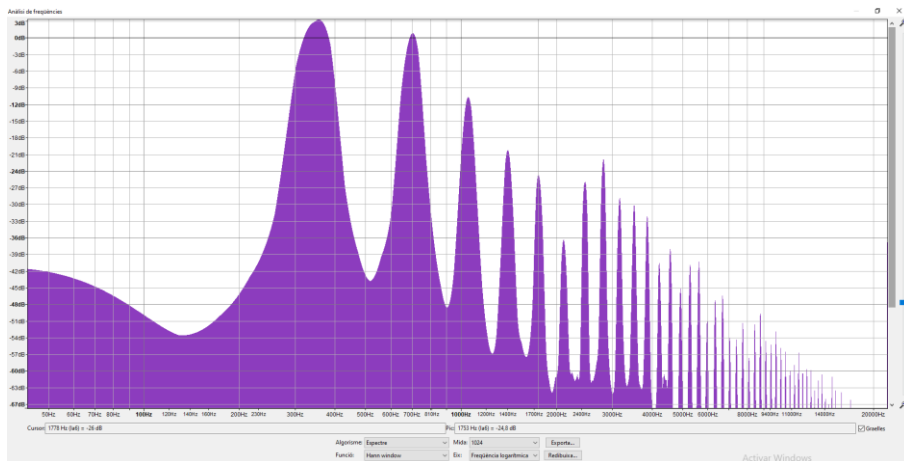
Broquet de PLA massís, nota Fa#. Vector (2, 4, -5, -21, -19, -26, -21, -35, -25, -30, -37)



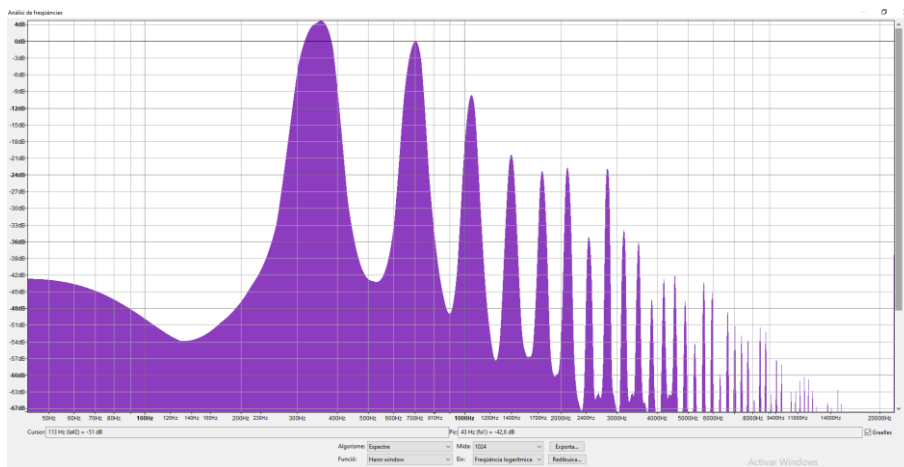
Broquet de resina, nota Fa#. Vector (1, 2, -11, -25, -22, -23, -23, -38, -31, -37, -32)



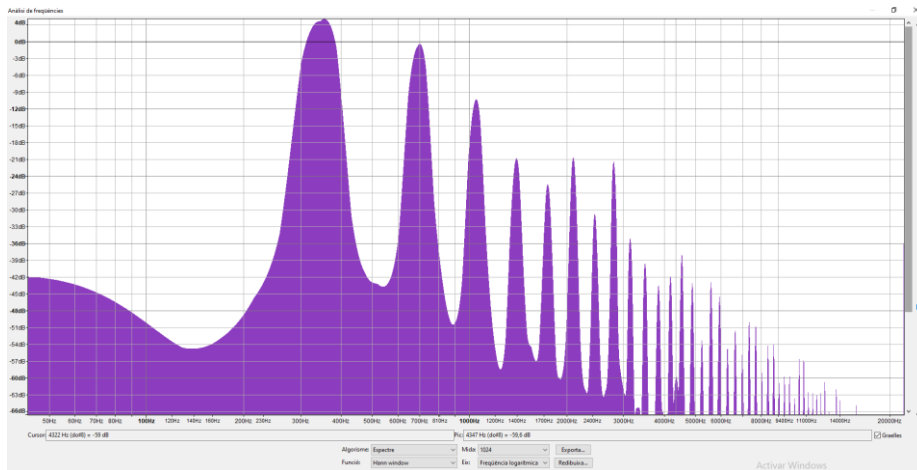
Broquet de metall, nota Sol. Vector (3, 1, -10, -19, -24, -35, -25, -21, -28, -29, -31)



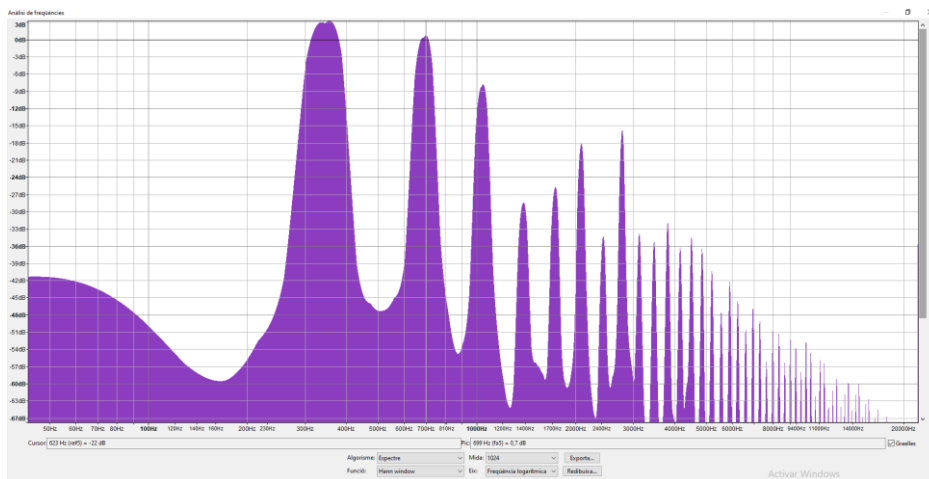
Broquet de PLA, nota Sol. Vector (4, 0, -9, -19, -22, -22, -34, -22, -33, -36, -45)



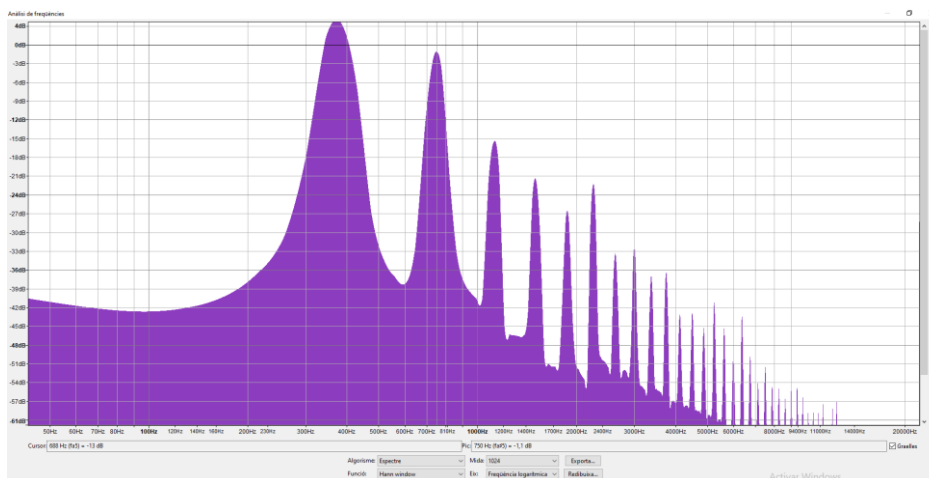
Broquet de PLA massís, nota Sol. Vector (4, 0, -9, -20, -25, -20, -30, -21, -34, -39, -42)



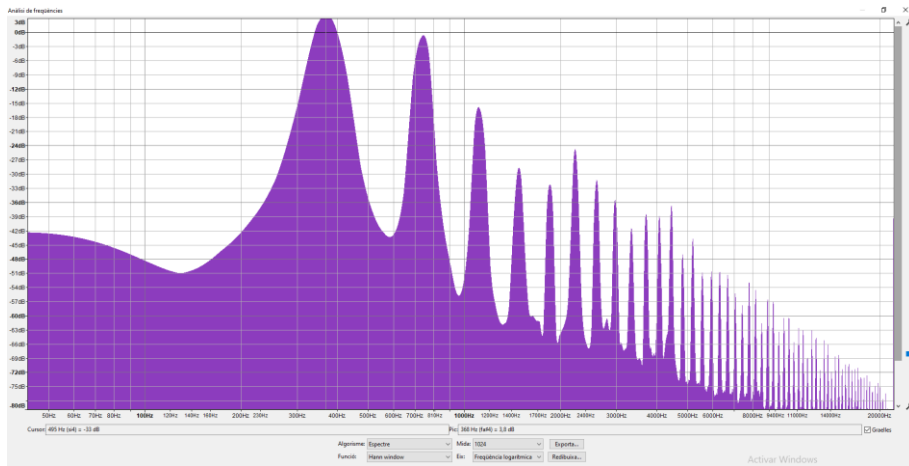
Broquet de resina, nota Sol. Vector (3, 1, -7, -27, -25, -17, -33, -15, -33, -34, -31)



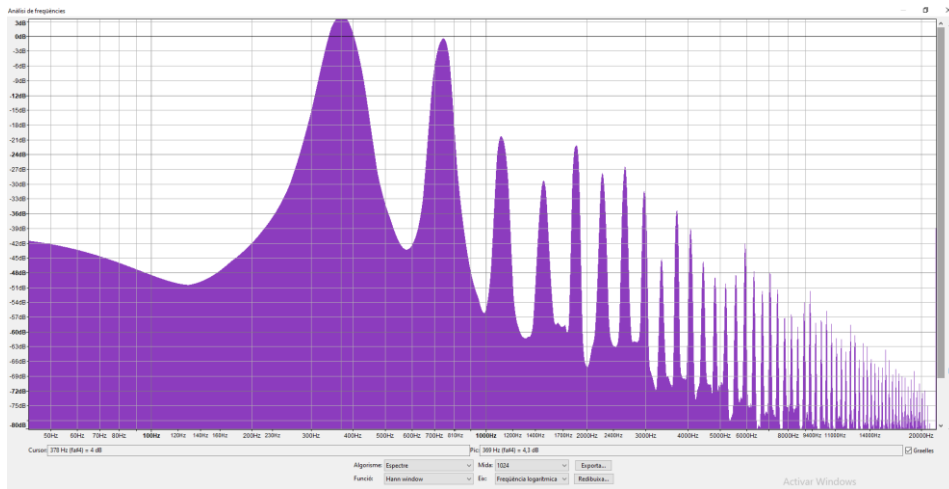
Broquet de metall, nota Sol#. Vector (5, 0, -14, -20, -26, -21, -33, -31, -36, -36, -42)



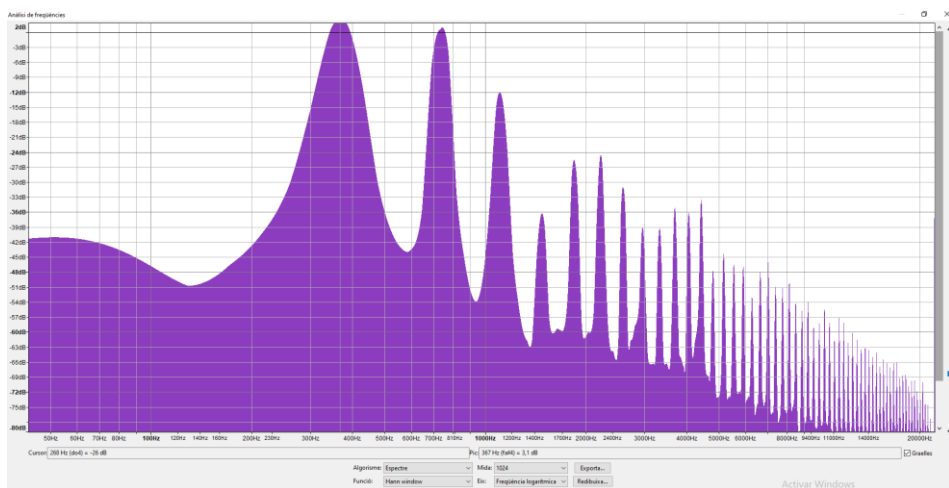
Broquet de PLA, nota Sol#. Vector (4,0,-15, -28, -31, -24, -30, -34, -42, -37, -38)



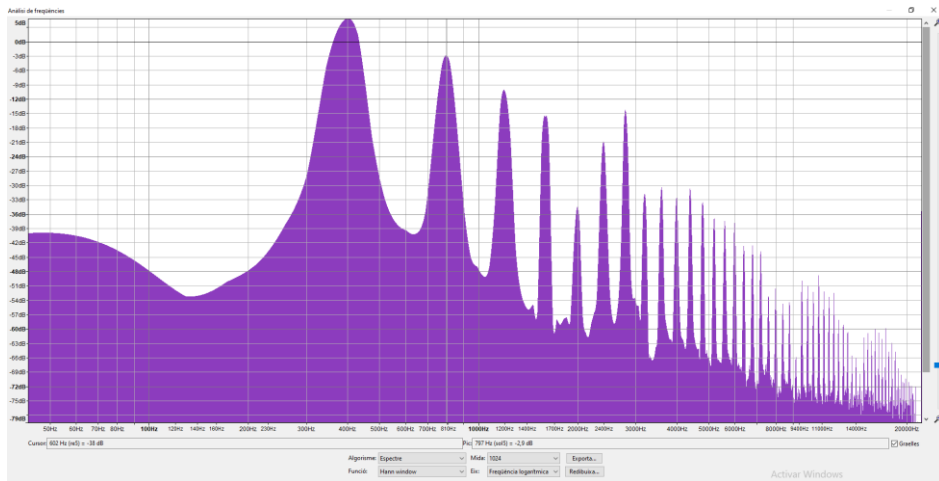
Broquet de PLA massís, nota Sol#. Vector (4,0,-20, -28, -21, -27, -26, -31, -44, -35, -38)



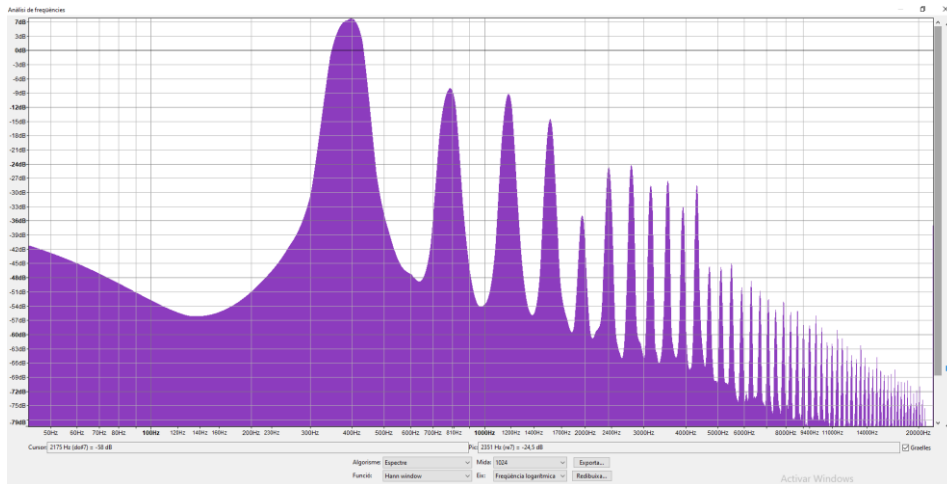
Broquet de resina, nota Sol#. Vector (3, 1, -11, -35, -25, -24, -30, -38, -38, -34, -36)



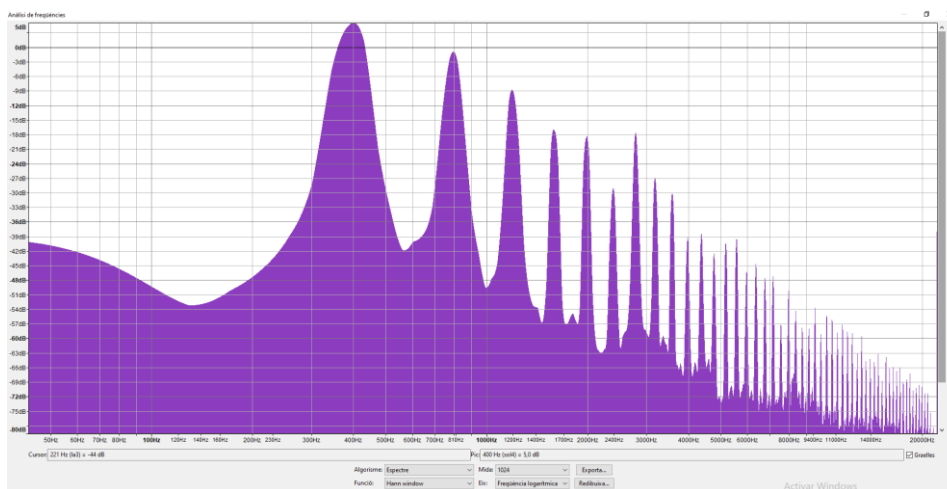
Broquet de metall, nota La. Vector (6, -2, -9, -15, -33, -20, -16, -31, -30, -32, -30)



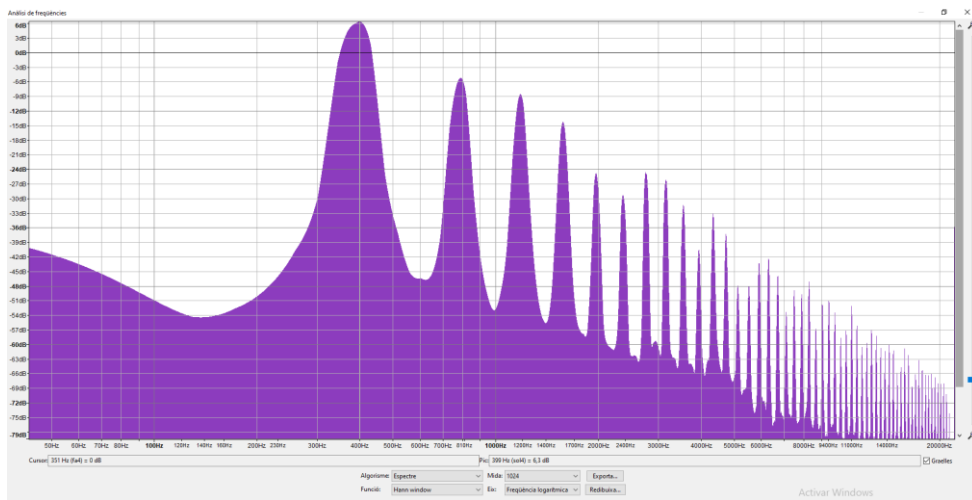
Broquet de PLA, nota La. Vector (8, -7, -8, -14, -34, -24, -23, -28, -27, -32, -27)



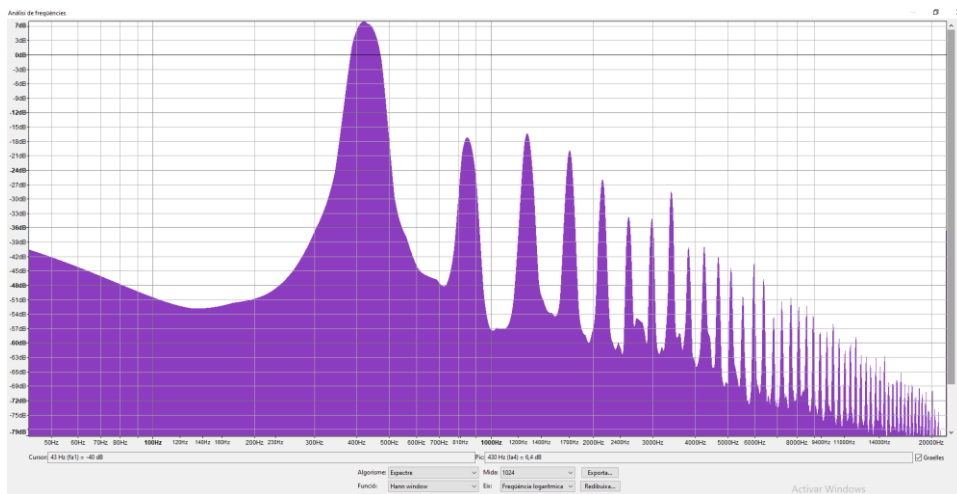
Broquet de PLA massís, nota La. Vector (6, 0, -8, -16, -17, -29, -17, -26, -29, -38, -37)



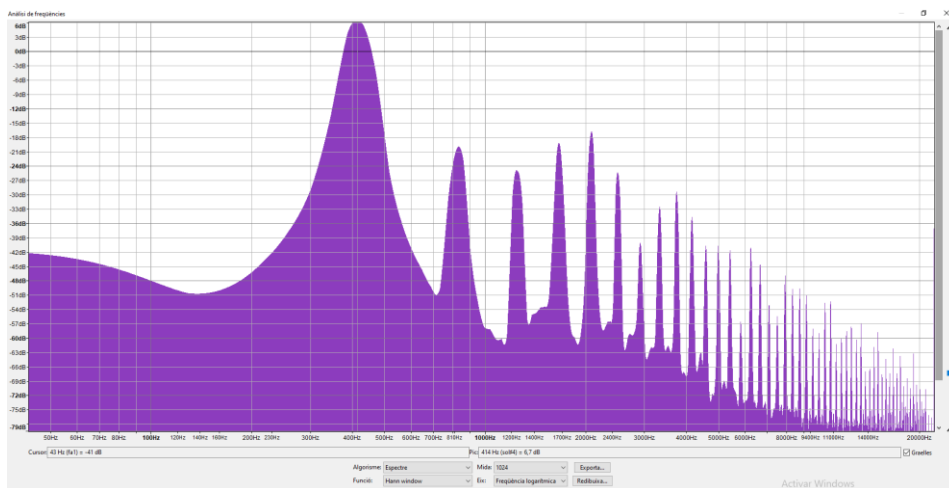
Broquet de resina, nota La. Vector (6, -4, -8, -13, -24, -28, -24, -25, -31, -39, -33)



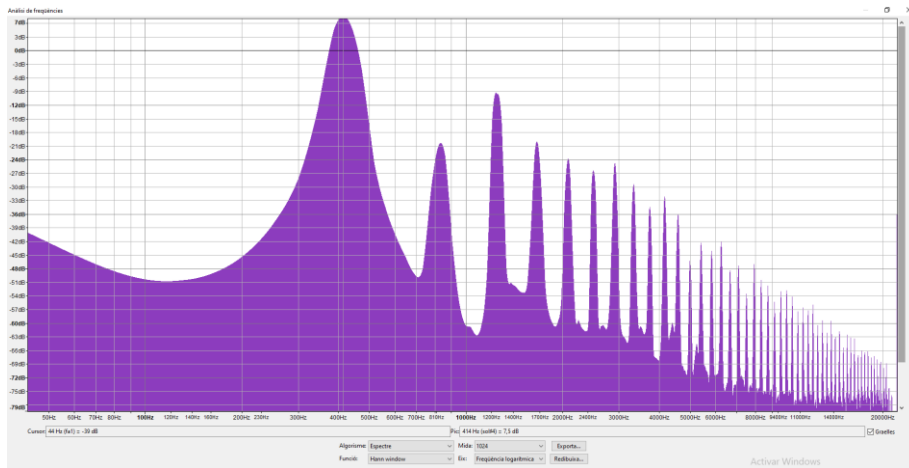
Broquet de metall, nota La#. Vector (7, -16,-15,-19,-25,-33, -33, -27, -39, -39, -43)



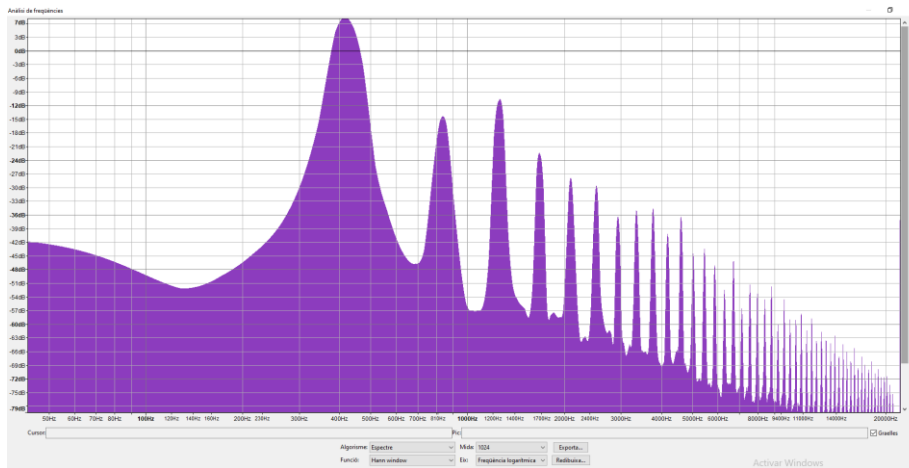
Broquet de PLA, nota La#. Vector (6, -19, -24,-18, -16, -24, -39, -32,-28,-34,-40)



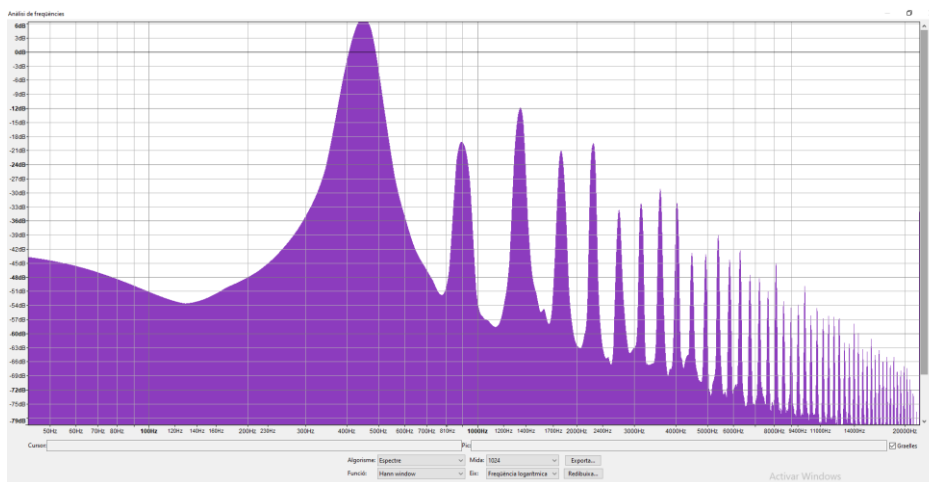
Broquet de PLA massís, nota La#. Vector (7, -19, -8,-19,-23, -26, -24, -28, -34, -32, -35)



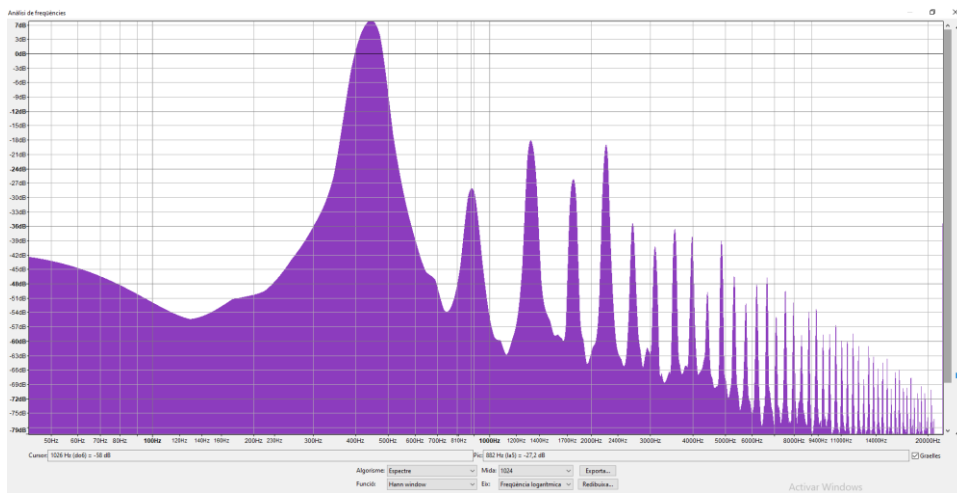
Broquet de resina, nota La#. Vector (7, -13, -10,-22, -27,-29, -35,-34, -34,-40, -35)



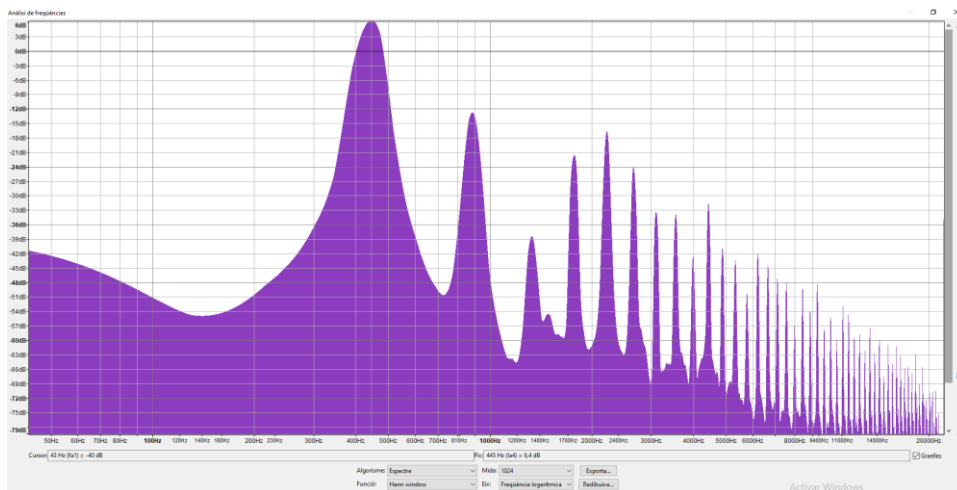
Broquet de metall, nota Si. Vector (7, -18, -11,-20,-18,-33,-32, -28, -31, -42, -43)



Broquet de PLA, nota Si. Vector (7, -27, -17,-25,-18,-35,-39,-36, -37, -49, -38)



Broquet de PLA massís, nota Si. Vector (6, -12,-37,-21,-16,-23, -33, -33, -42, -31, -40)



Broquet de resina, nota Si. Vector (6, -20, -21,-21, -20,-27, -32,-31, -42,-43, -41)

