

IMPRESIÓN 3D DE UN PUNTERO DE GAITA GALLEGA: ESTUDIO DE PARÁMETROS RELEVANTES

María López Carballo

Objeto y Alcance

Objetivos

Desarrollo de un puntero de gaita gallega impreso en 3D

Entender el funcionamiento y la acústica del puntero

Mantener una afinación y tesitura similares a las de un puntero tradicional, con la misma digitación

Lograr un sonido similar al de un puntero de madera

Diseñar y fabricar un puntero más accesible económicamente

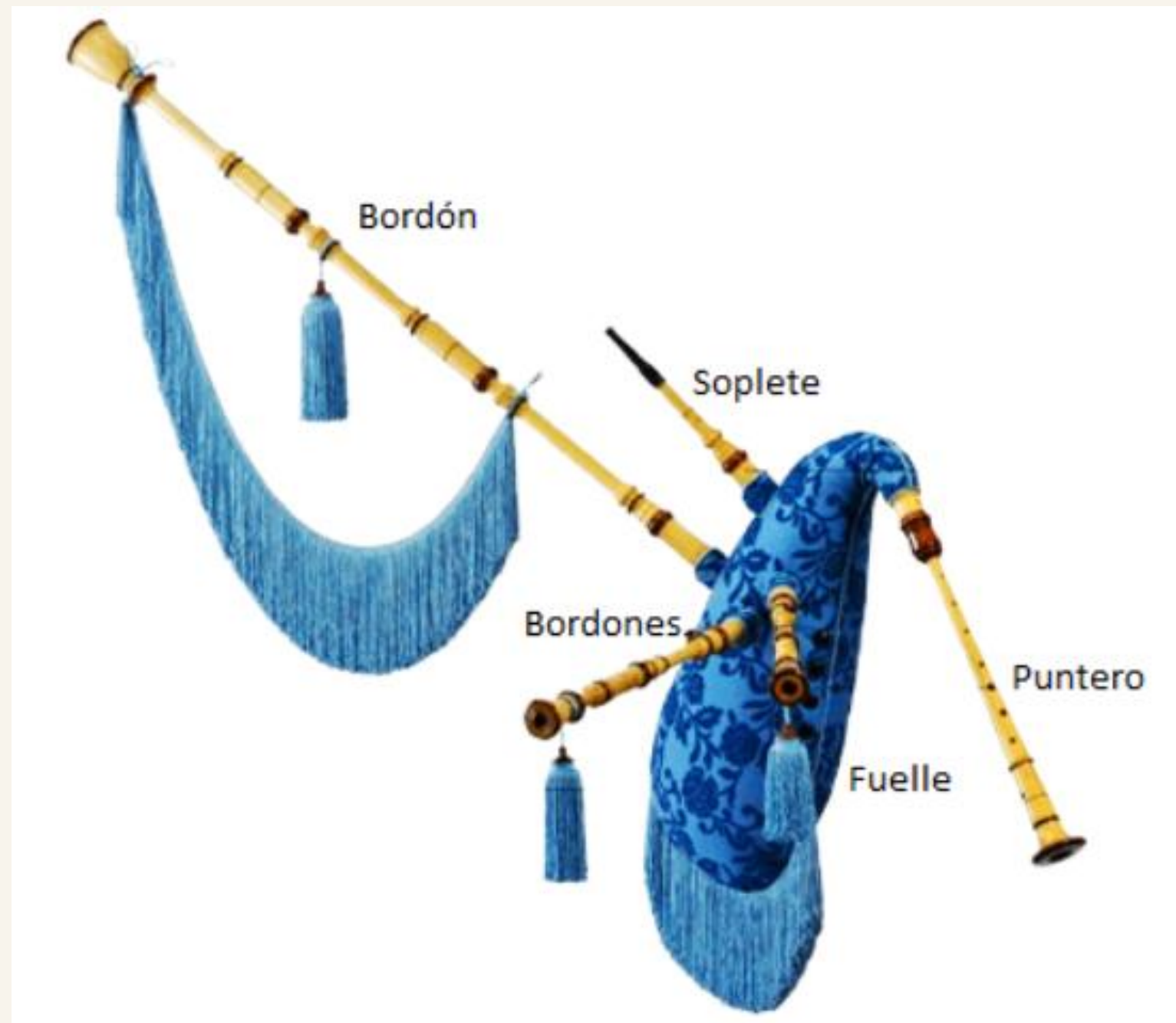
Alcance

1. Revisión bibliográfica

2. Elección de la técnica de producción, del material y de la herramienta de diseño

3. Diseño de prototipos

Gaita Gallega



- Gaita: fuelle elemento diferenciador con respecto a otros instrumentos de viento.
- Punteiro: ocho agujeros digitación, tres oídos.
- Palleta: vibración producida amplificada por todo el punteiro.

Luthería Tradicional



Madera aserrada en reposo



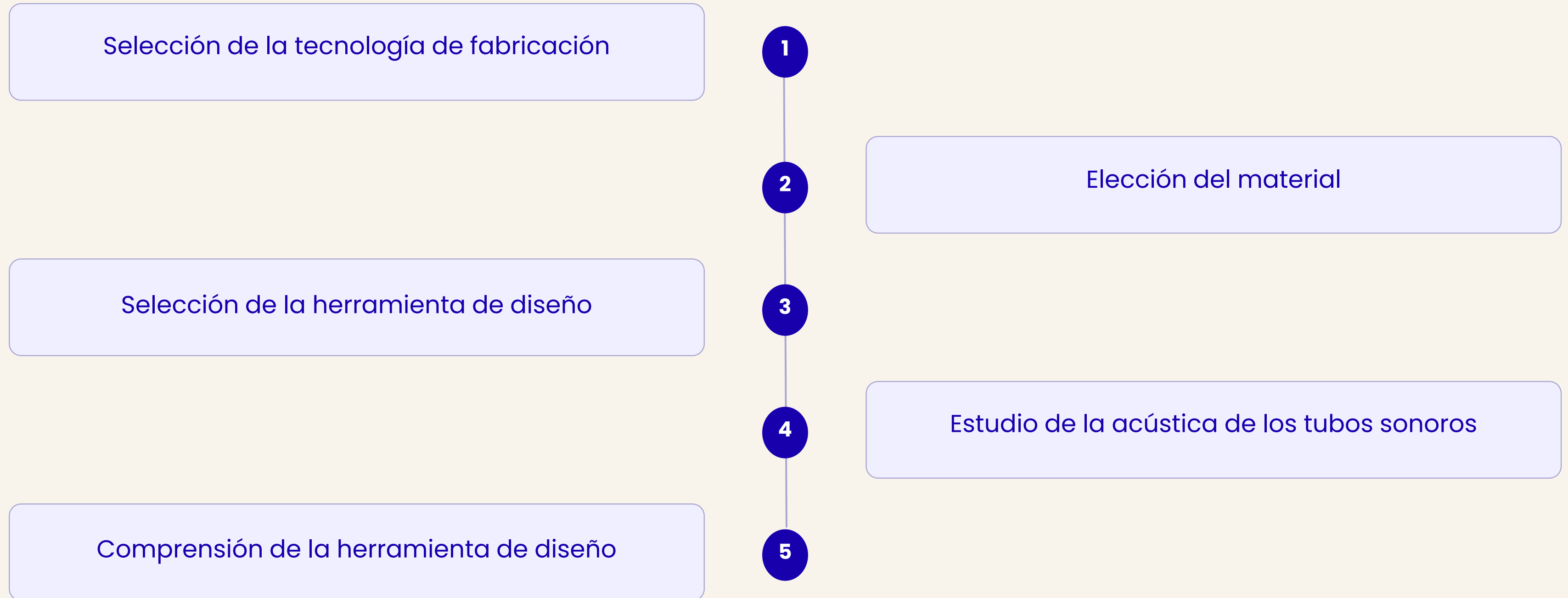
Almacén de madera con
forma cilíndrica



Torneado y escariado

¿Sería posible fabricar un punteiro más asequible económicamente con las tecnologías actuales?

Etapas Previas al Comienzo del Diseño



Selección de la Tecnología de Fabricación

Fabricación aditiva

Ventajas

Optimización del ciclo de desarrollo y prototipado

Sostenibilidad y eficiencia de material

Personalización del diseño

Complejidad geométrica

Inconvenientes

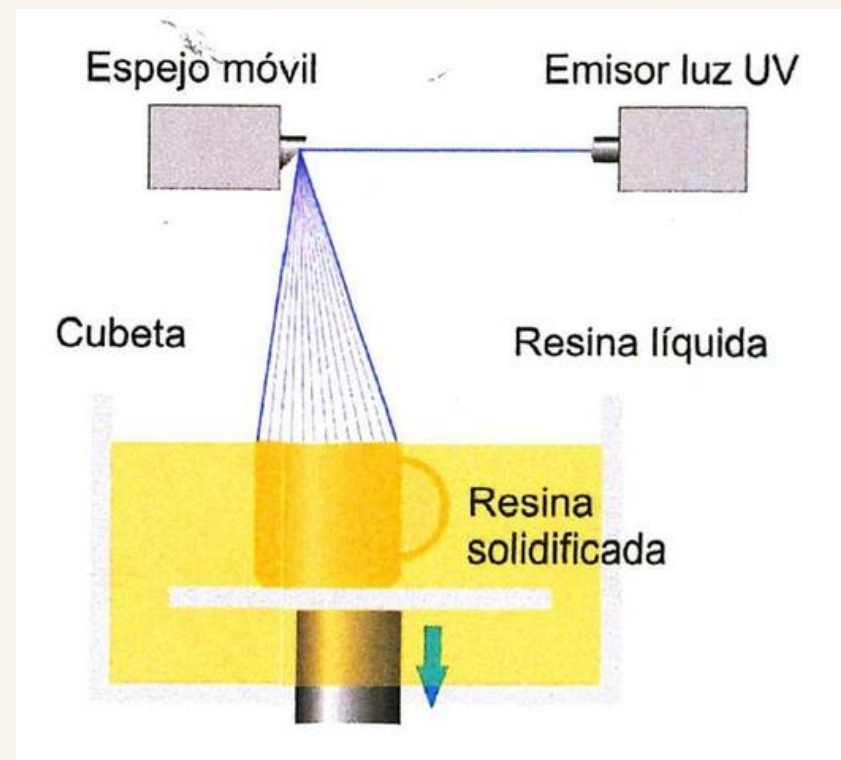
Anisotropía estructural

Rugosidad superficial interna

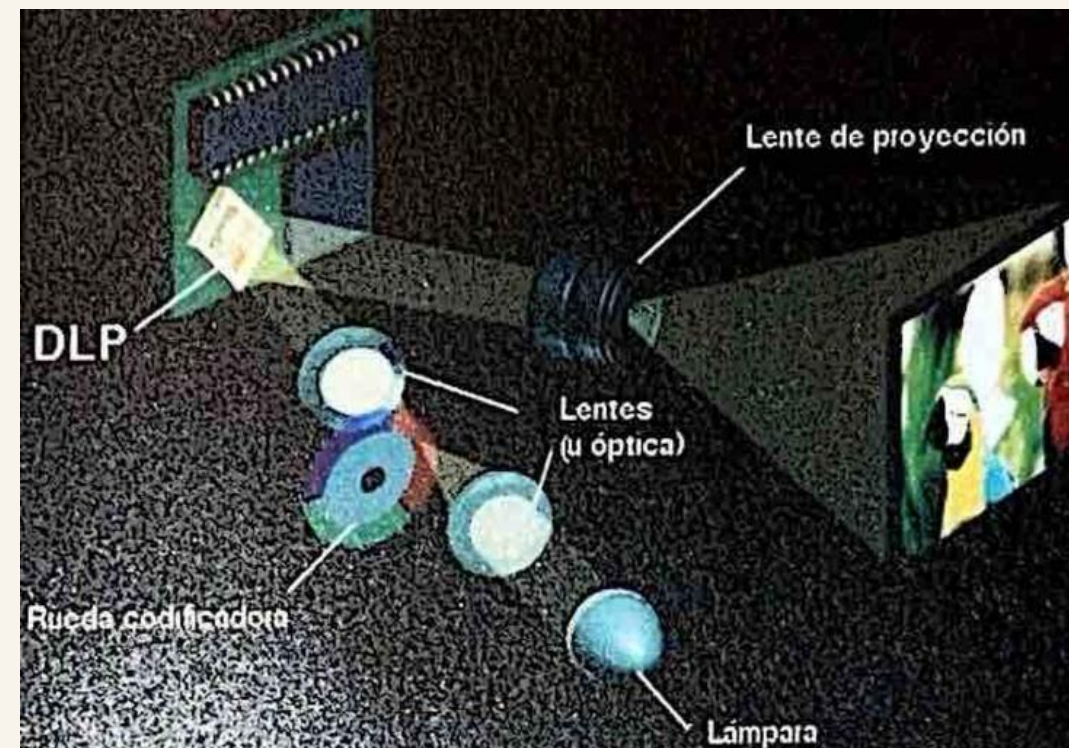
Estabilidad térmica limitada

Discrepancia entre diseño y fabricación

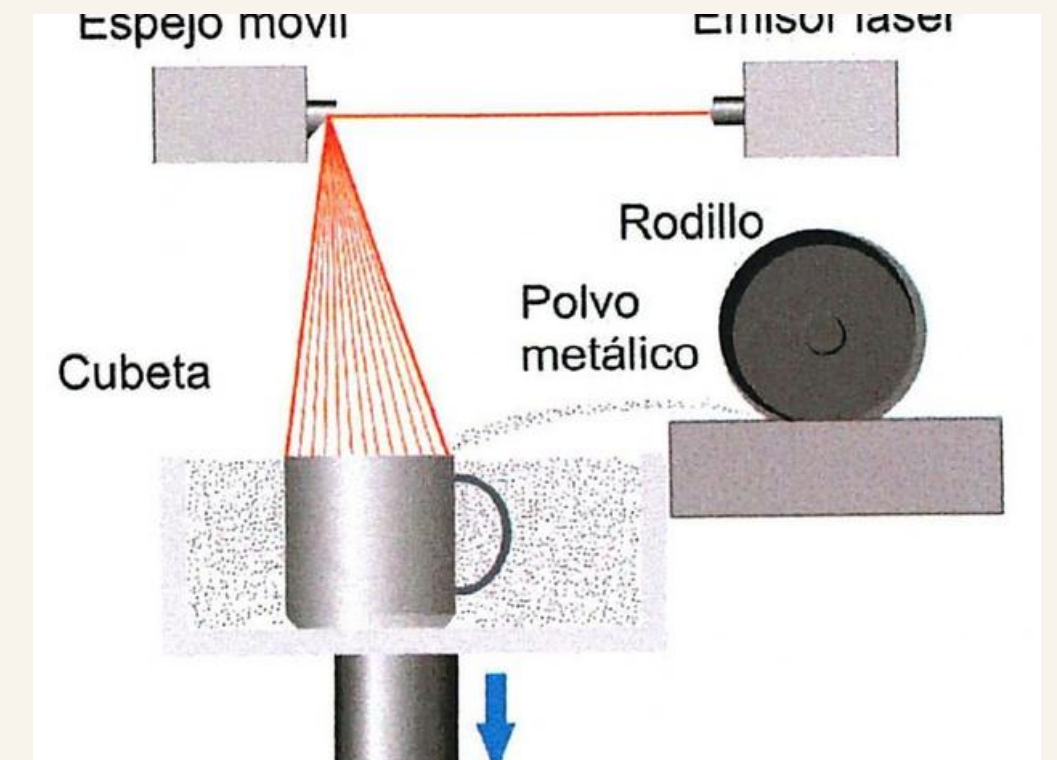
Selección de la Tecnología de Fabricación



Estereolitografía
(SLA)



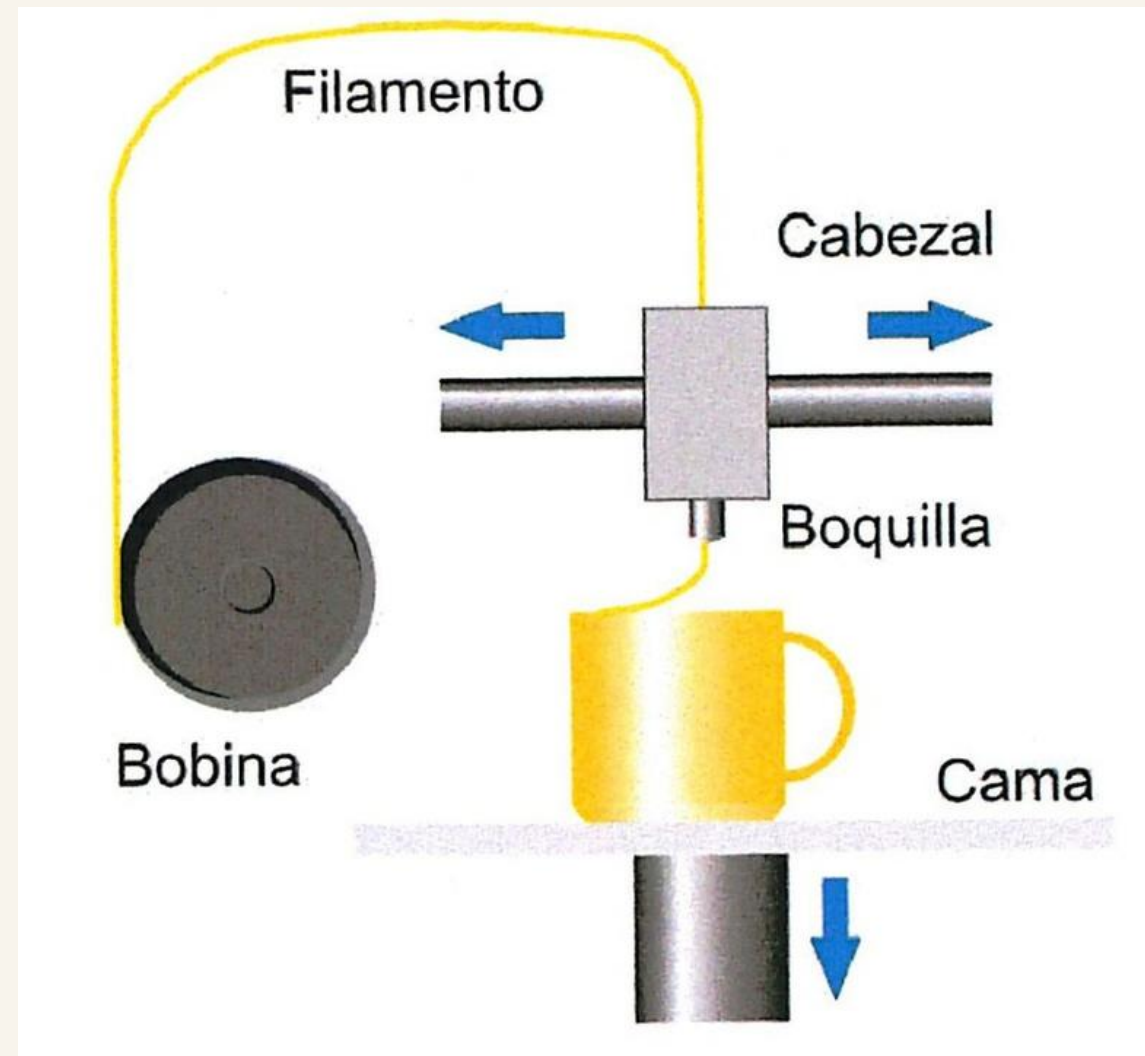
Procesamiento Digital de Luz
(DLP)



Sinterizado Selectivo por Láser
(SLS)

Tecnologías rechazadas debido a la toxicidad de sus materiales y al alto coste de la maquinaria y fabricación.

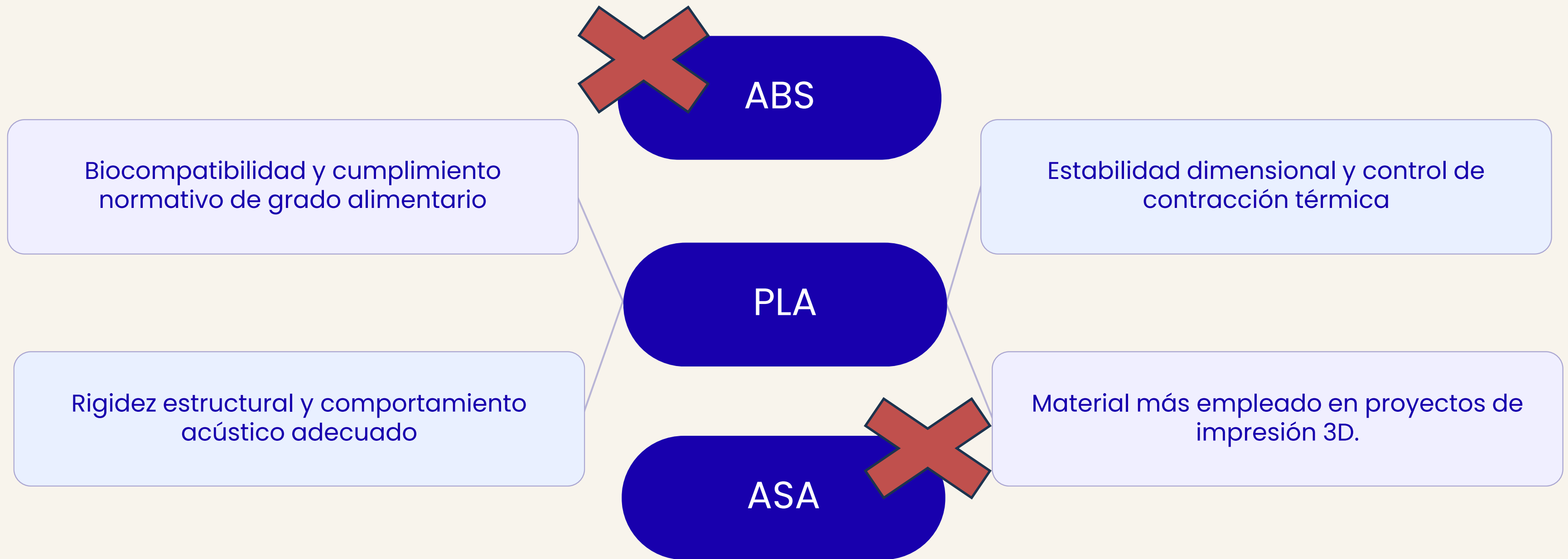
Selección de la Tecnología de Fabricación



Modelado por Deposición Fundida
(FDM)

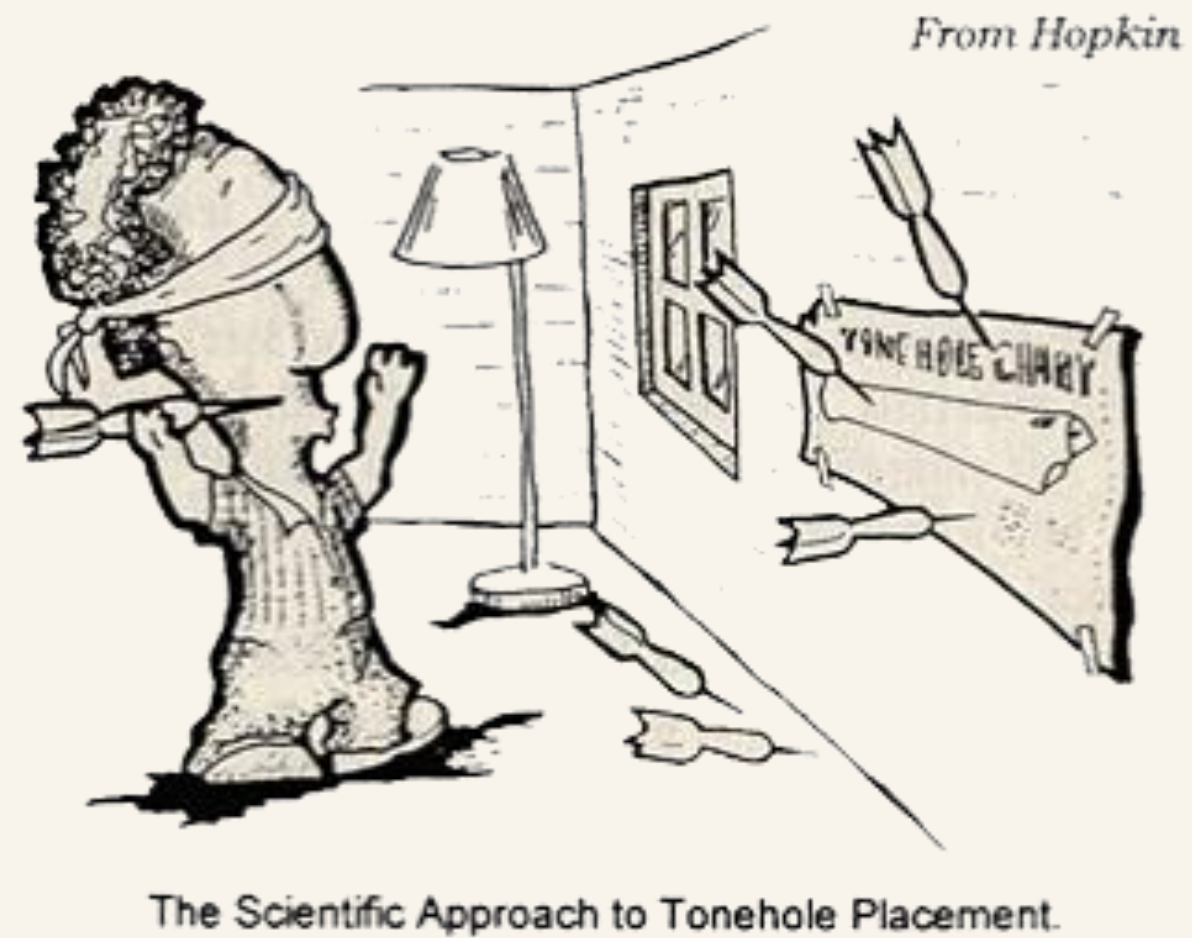
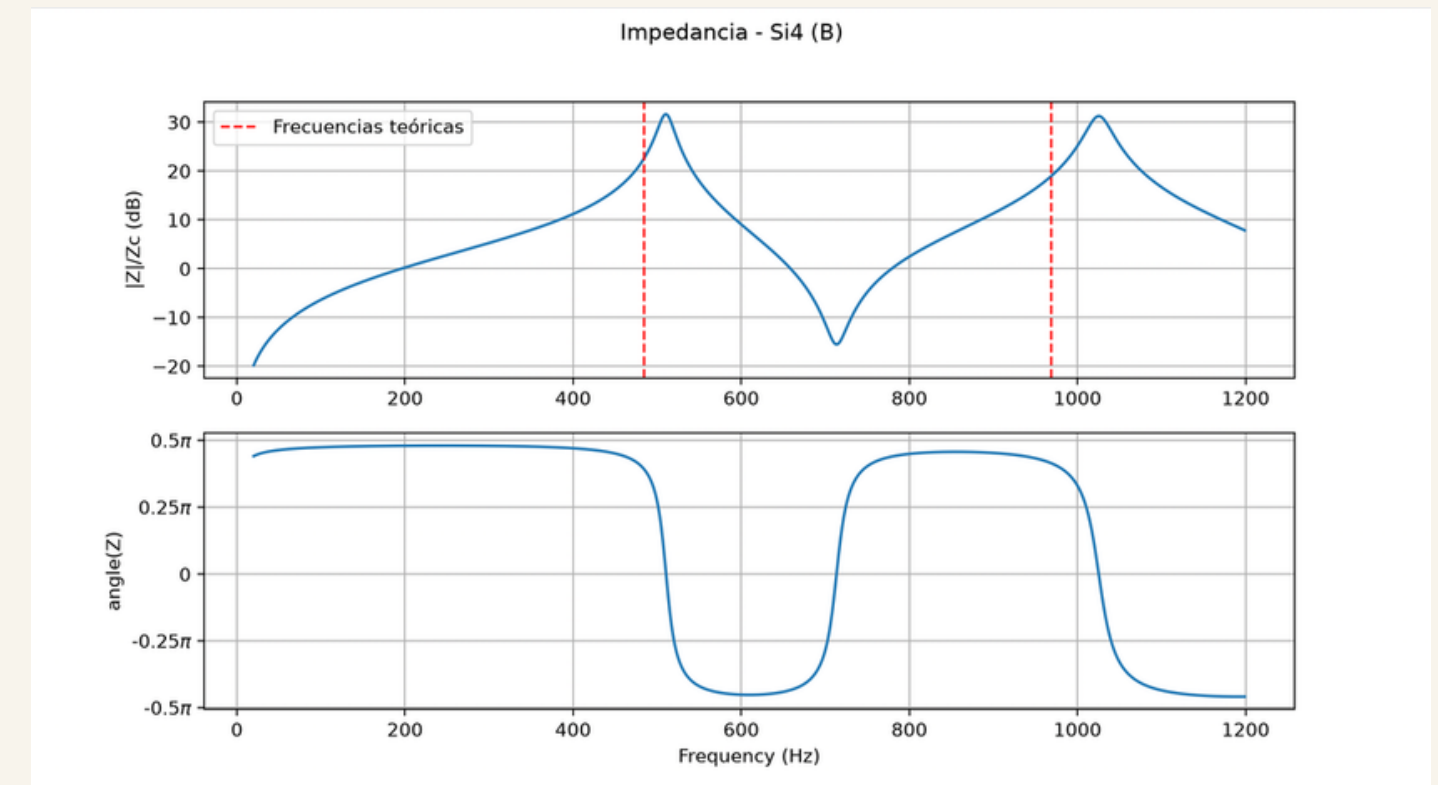
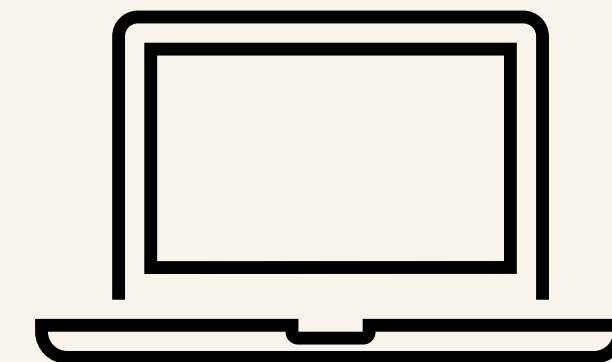
- Facilidad de uso y versatilidad.
- Más rápida que otras técnicas.
- Accesible.
- Coste del material bajo.
- Algunos inconvenientes como peor acabado.
- El filamento difícil de manipular en ocasiones.
- La relación entre las prestaciones, coste y reproducibilidad: técnica más adecuada

Elección del Material

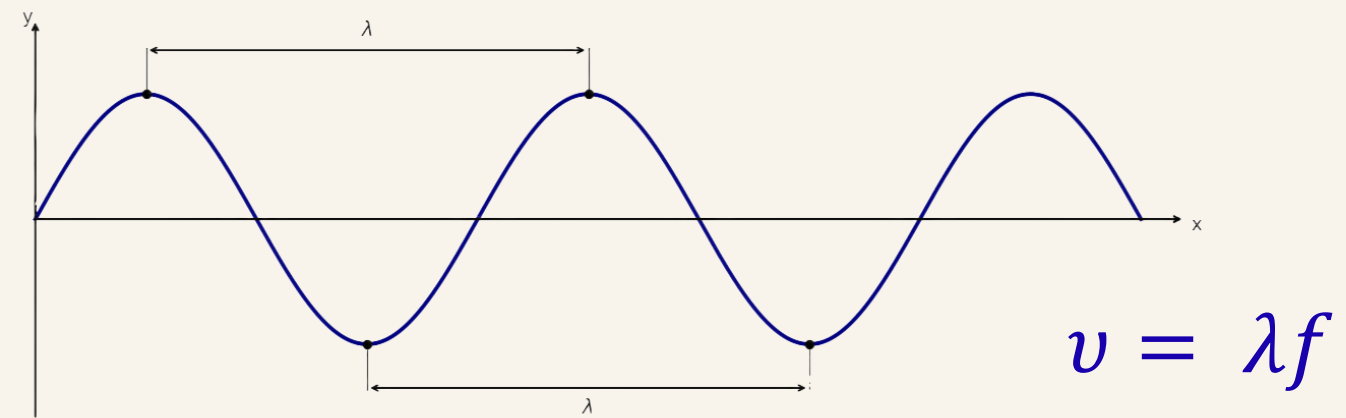
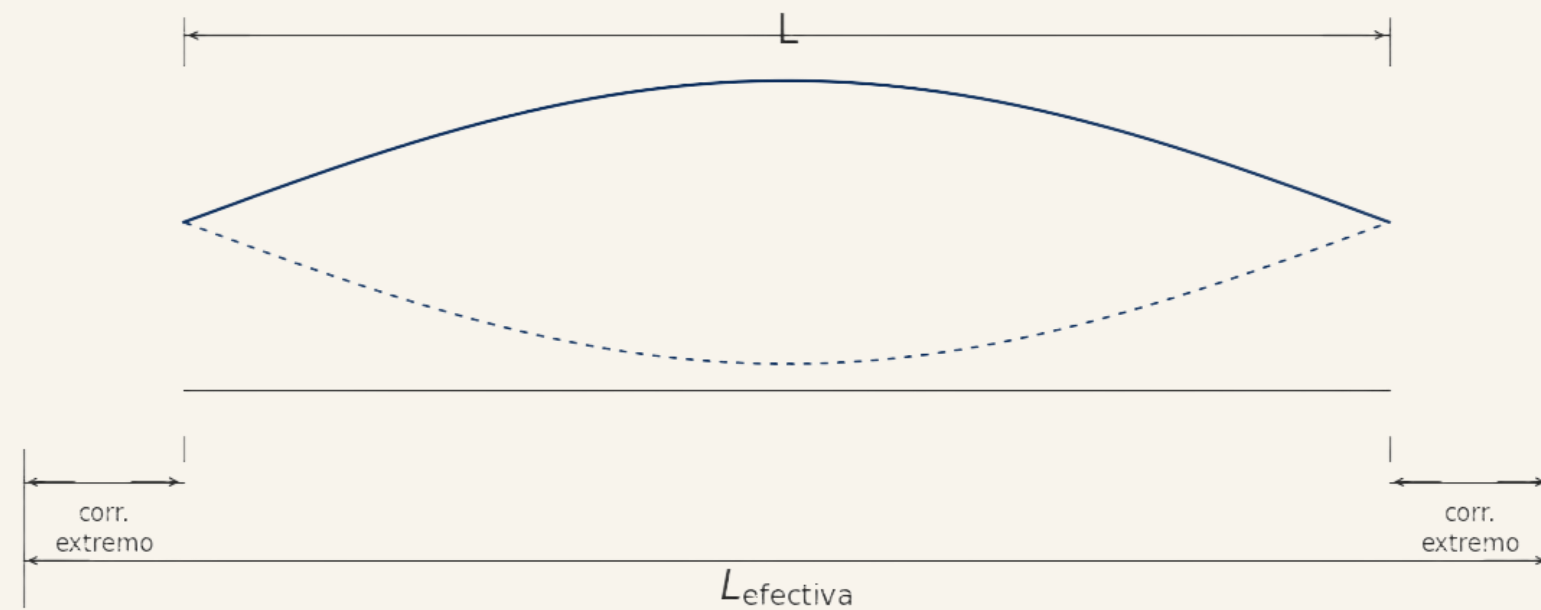
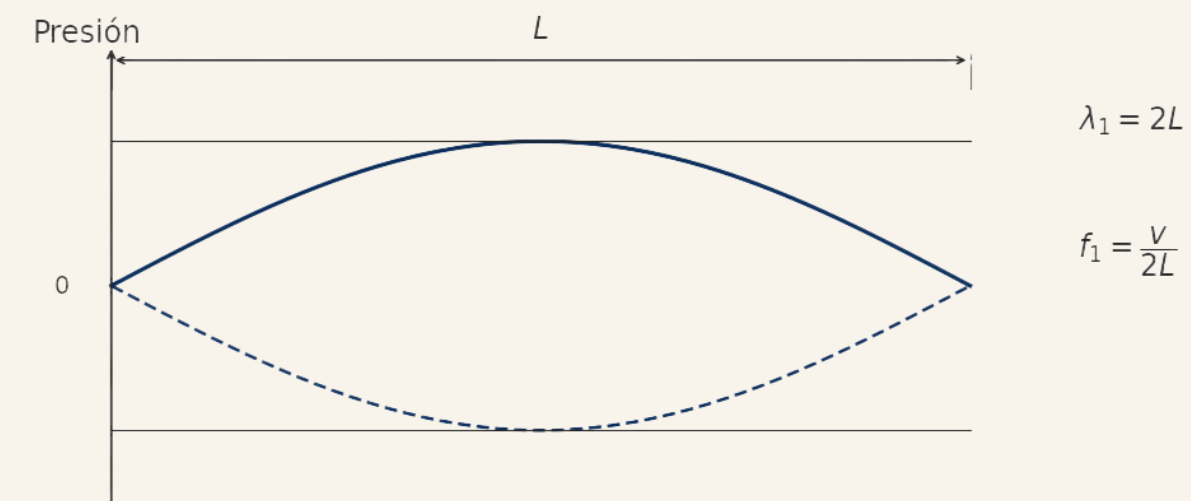
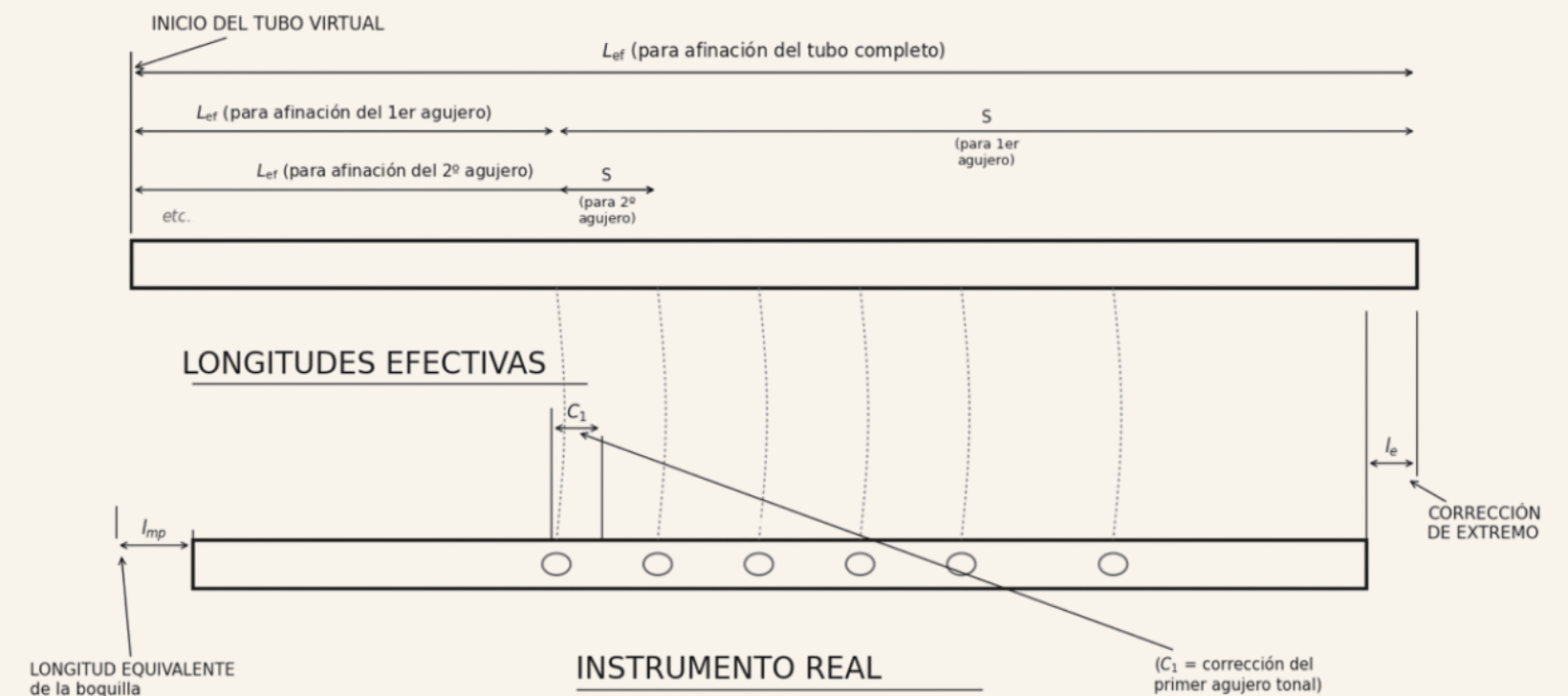


En los instrumentos de viento, el material de las paredes prácticamente no tiene influencia en el sonido debido a que el elemento vibratorio es la columna de aire.

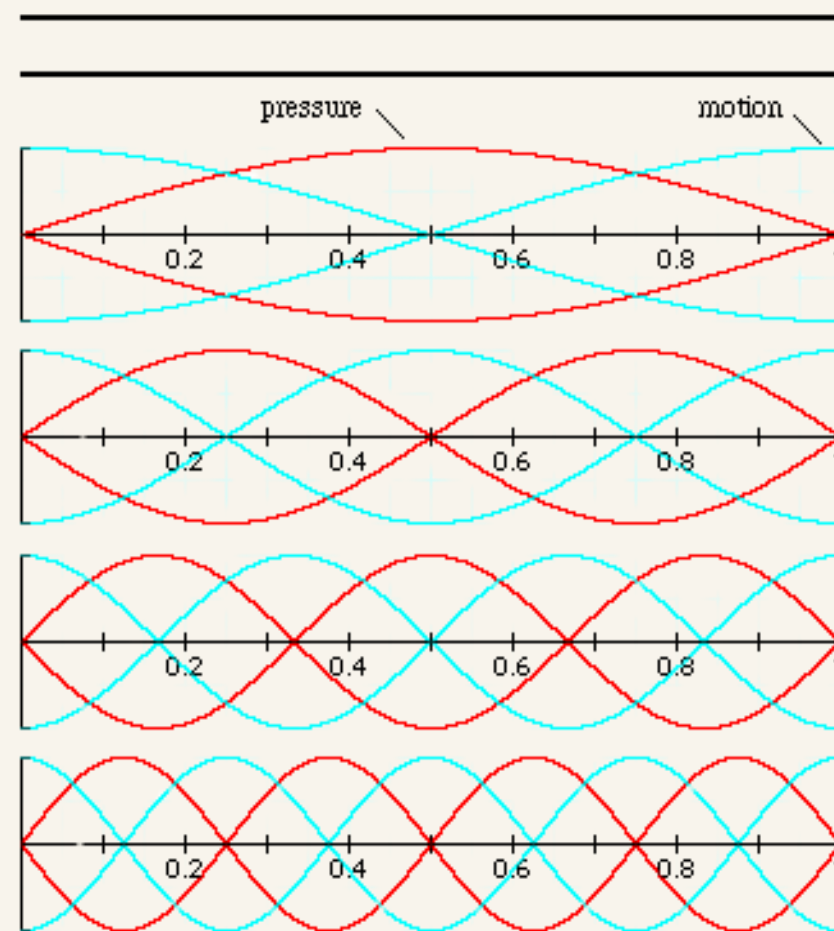
Selección de la Herramienta de Diseño



Estudio de la Acústica de los Tubos Sonoros

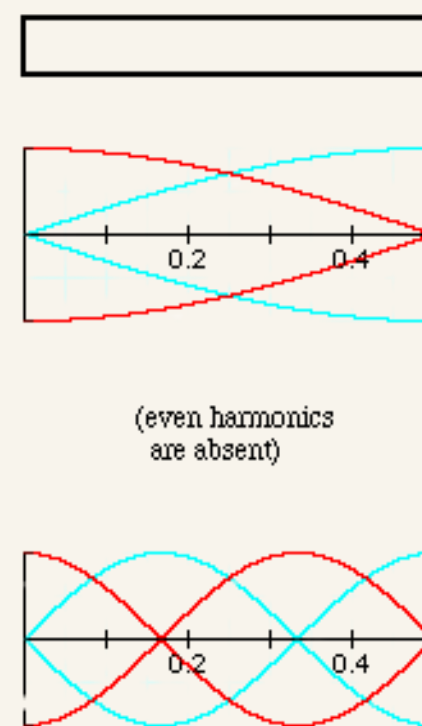


Estudio de la Acústica de los Tubos Sonoros



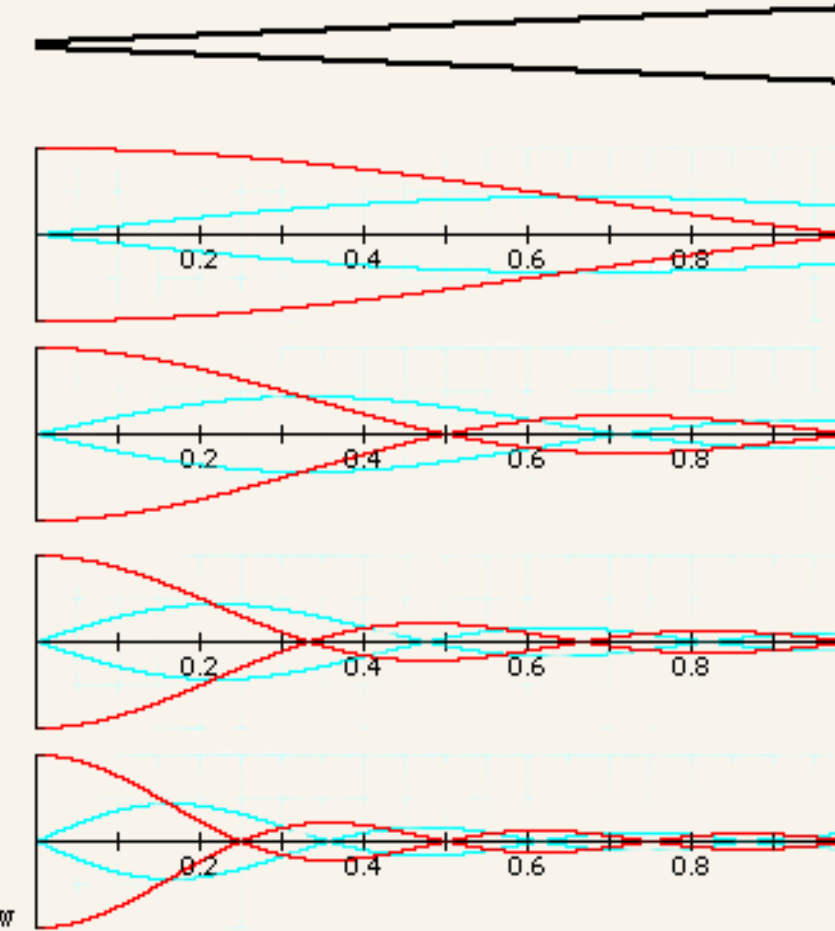
$$\lambda = 2L$$

$$f = \frac{v}{2L}$$



$$\lambda = 4L$$

$$f = \frac{v}{4L}$$



$$\lambda = 2L$$

$$f = \frac{v}{2L}$$

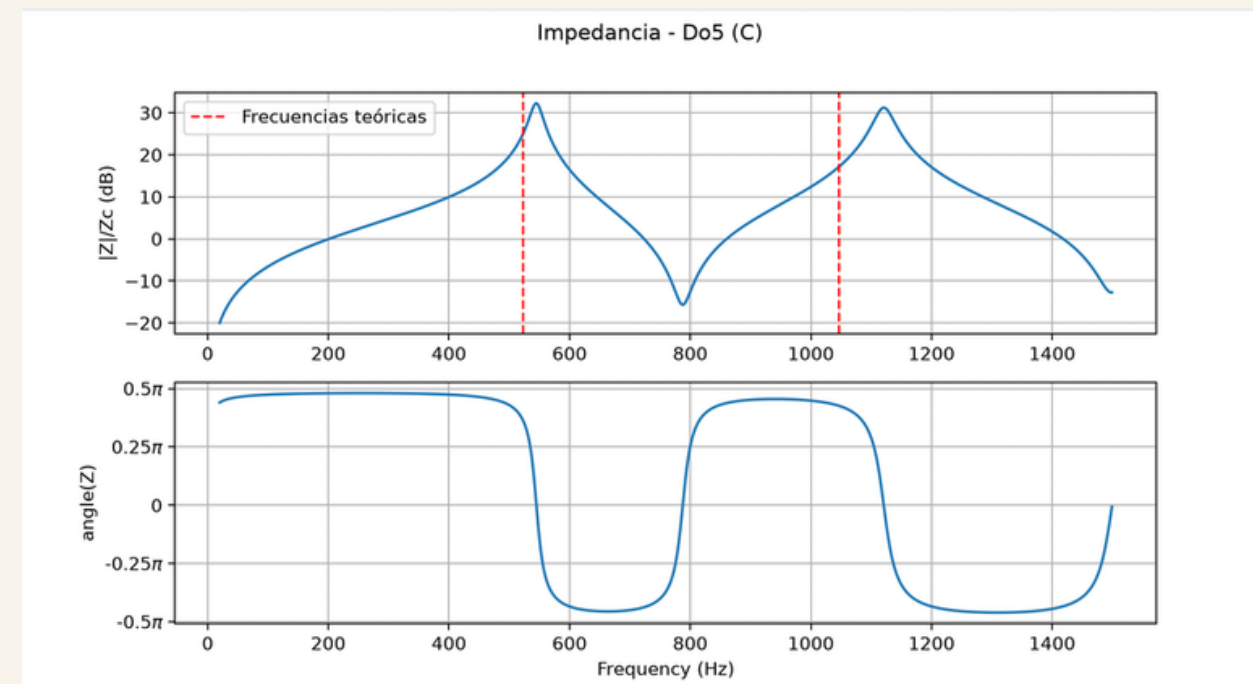
J. Wolfe, UNSW

Estudio de la Acústica de los Tubos Sonoros

- Impedancia acústica: relación entre la presión acústica p y el flujo de volumen U .

$$Z = p/U$$

- Oposición de la columna de aire del instrumento al movimiento oscilatorio impuesto por la palleta a cada frecuencia.
- Picos máximos de la curva de impedancia: condiciones más eficientes (máximo sonido, mínimo caudal)
- Análisis curvas: predecir la afinación y resolución problemas de ruido oscilante en notas graves de algunos prototipos.



Curva de Impedancia

Comprensión de la Herramienta de Diseño

OpenWind: librería código abierto Python

```
! unit = millimeter
! diameter = True

*****Main Bore*****
# x0      x1      D0      D1      type      param
-5.0      0.0      6.8      6.8      cone
0.0       9.28     6.8      5.4      cone
9.28      18.55     5.4      4.0      cone
18.55     315.10    4.0      20.8     exponential
```

Geometría del Tubo

```
bagpipe_holes = [
    ['label', 'position', 'radius', 'chimney'],
    ['hole1', 57.94e-3, 0.8e-3, 0.002],
    ['hole2', 66.80e-3, 1.35e-3, 0.002],
    ['hole3', 88.50e-3, 2.5e-3, 0.002],
    ['hole4', 105.00e-3, 2.80e-3, 0.002],
    ['hole5', 128.00e-3, 2.70e-3, 0.002],
    ['hole6', 150.00e-3, 4.20e-3, 0.002],
    ['hole7', 182.00e-3, 4.50e-3, 0.002],
    ['hole8', 216.80e-3, 3.0e-3, 0.002],
    ['hole9', 245.0e-3, 2.6e-3, 0.002],
    ['hole10', 257.90e-3, 5.51e-3, 0.002]
]
```

Geometría de los Agujeros

```
[['label', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'A', 'B2', 'C2'],
 ['hole1', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'o'],
 ['hole2', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'o', 'o'],
 ['hole3', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'o', 'o', 'o'],
 ['hole4', 'x', 'x', 'x', 'x', 'x', 'o', 'o', 'o', 'o'],
 ['hole5', 'x', 'x', 'x', 'x', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o'],
 ['hole6', 'x', 'x', 'x', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o'],
 ['hole7', 'x', 'x', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o'],
 ['hole8', 'x', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o'],
 ['hole9', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o'],
 ['hole10', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o', 'o']]
```

Tabla de Digitación



Geometría Interna Puntero

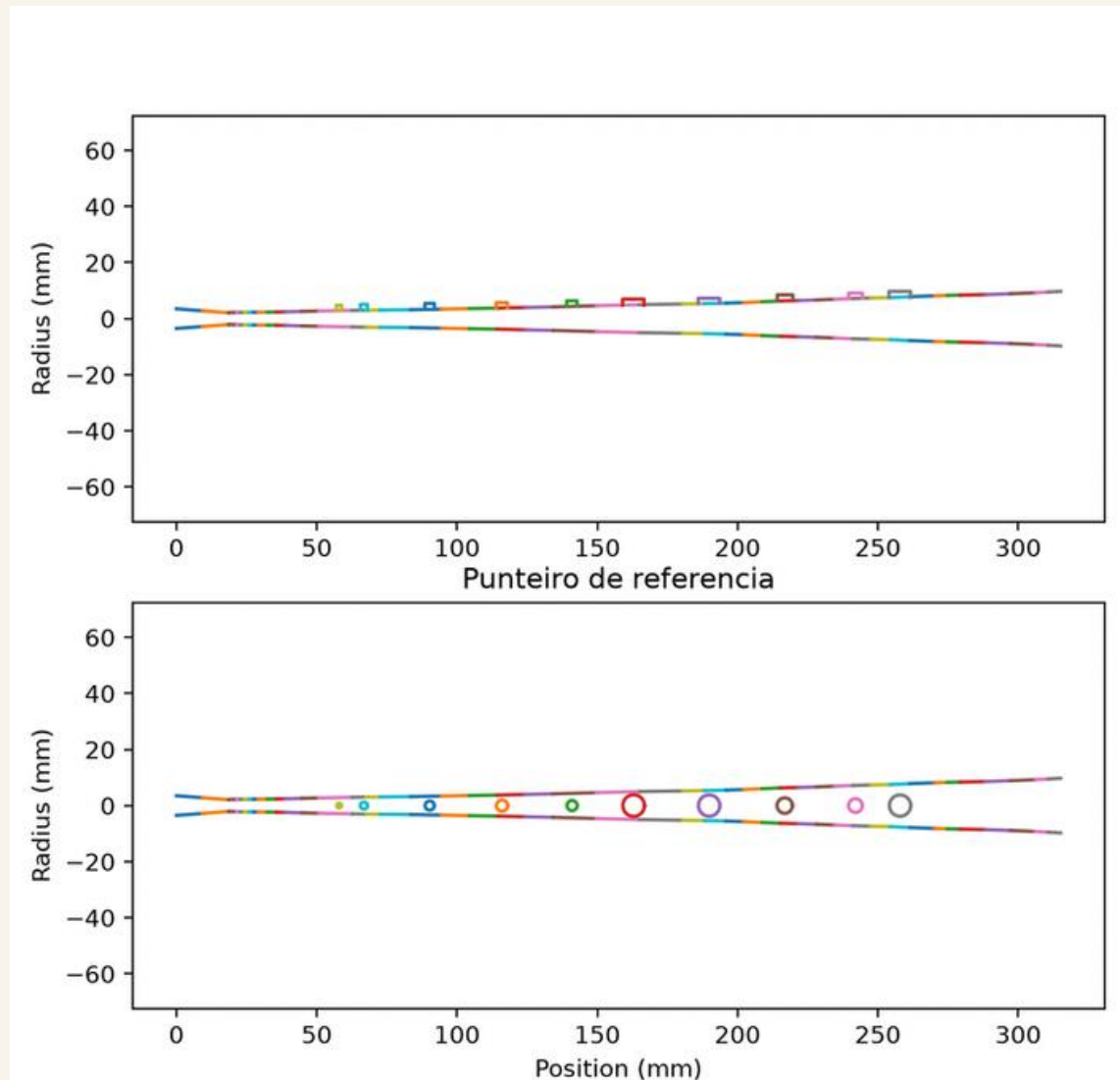


Modelo Simulador con Agujeros

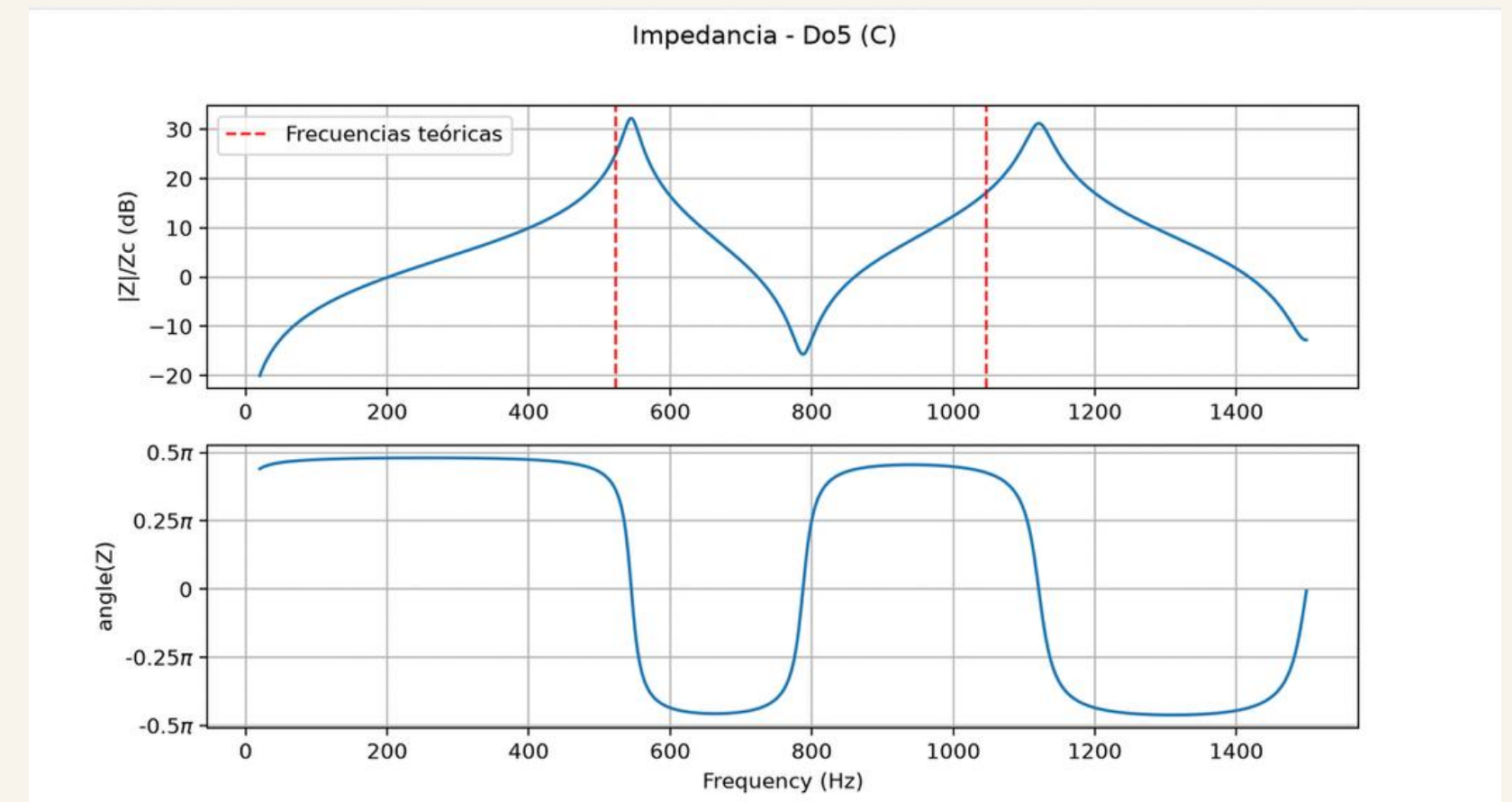


Comprensión de la Herramienta de Diseño

Módulo FrecuentiaSolver: evolución impedancia acústica entrada y predicción afinación

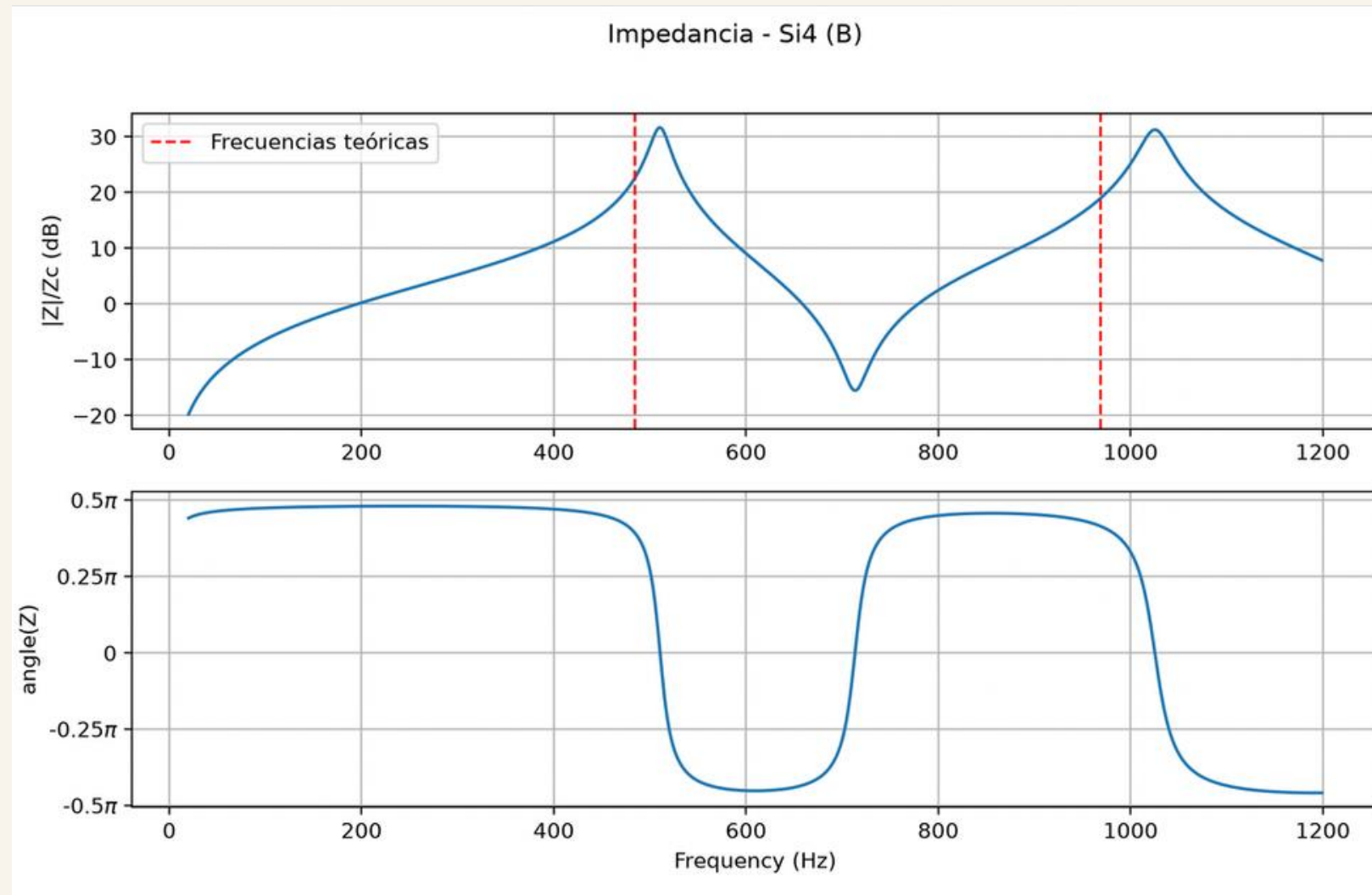


Geometría del Tubo

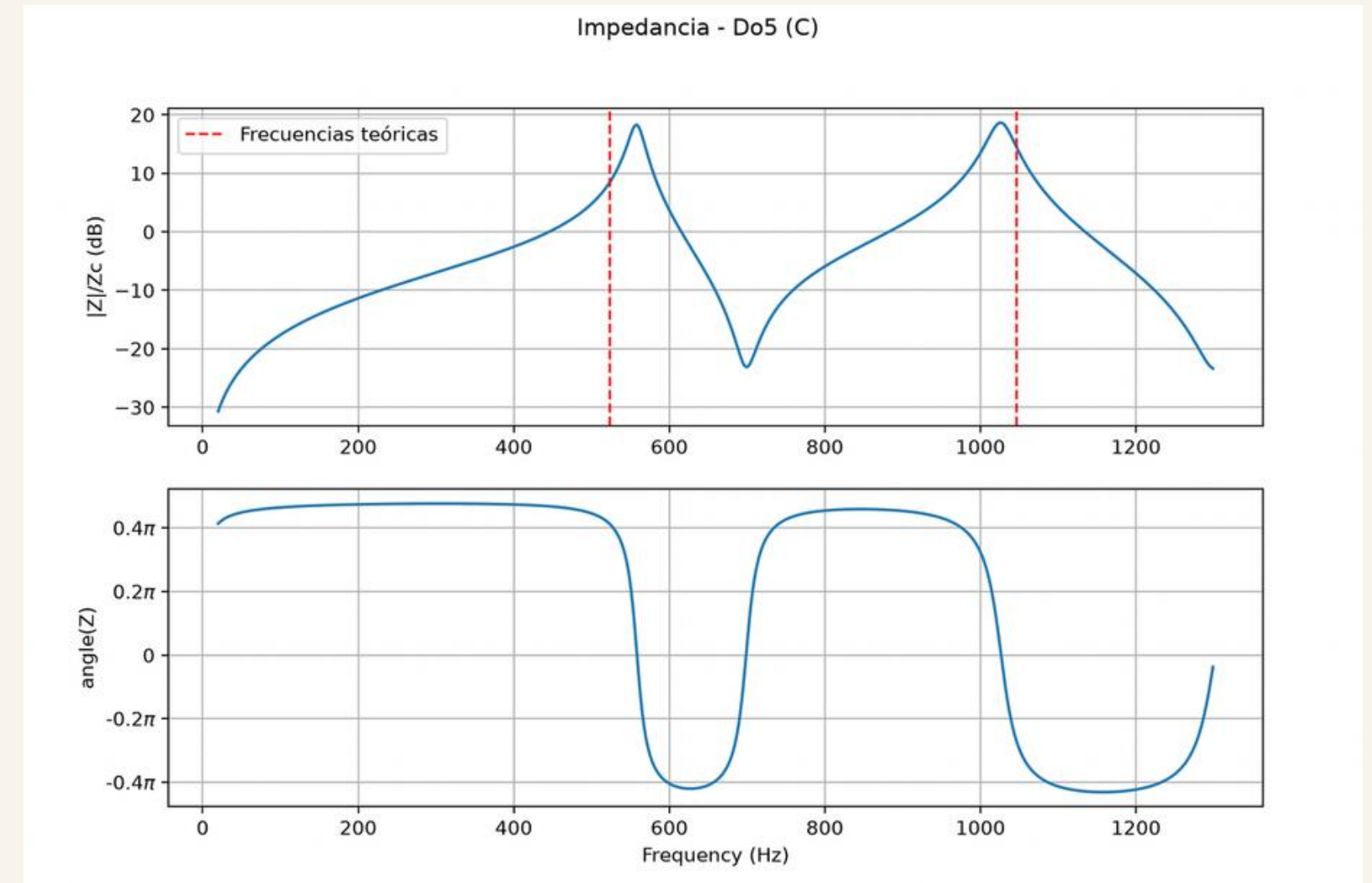


Curva de Impedancia

Prototipos Fallidos



Curva de Impedancia Si 4

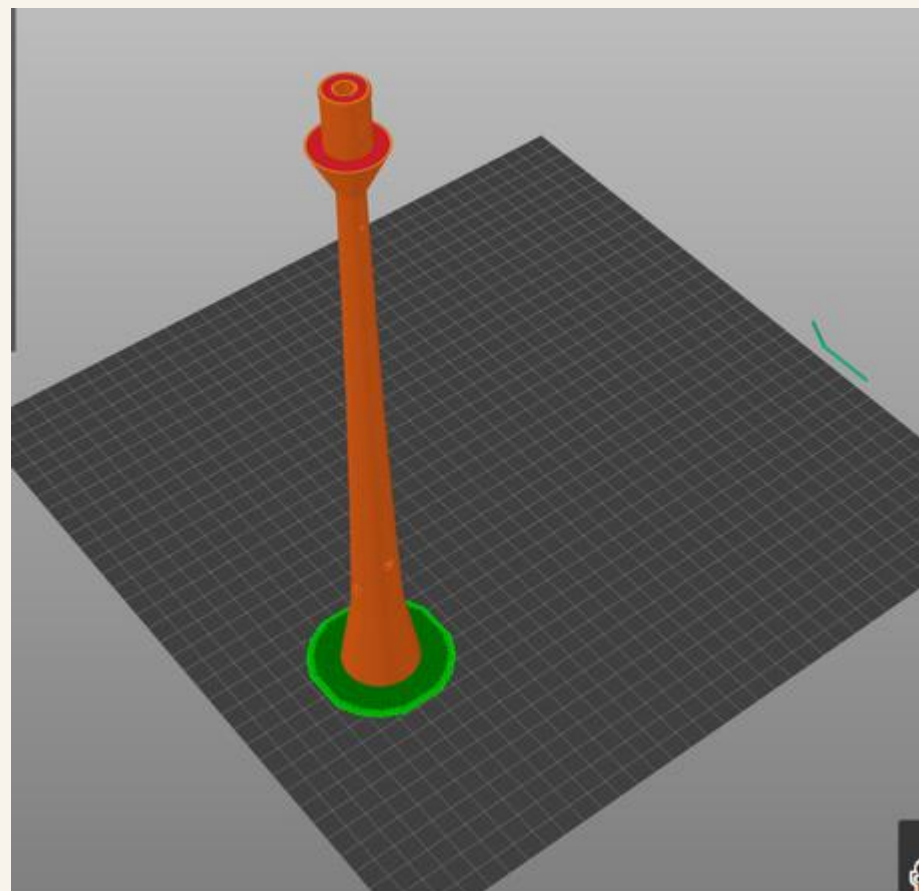


Curva de Impedancia Do 5



Proceso de Impresión

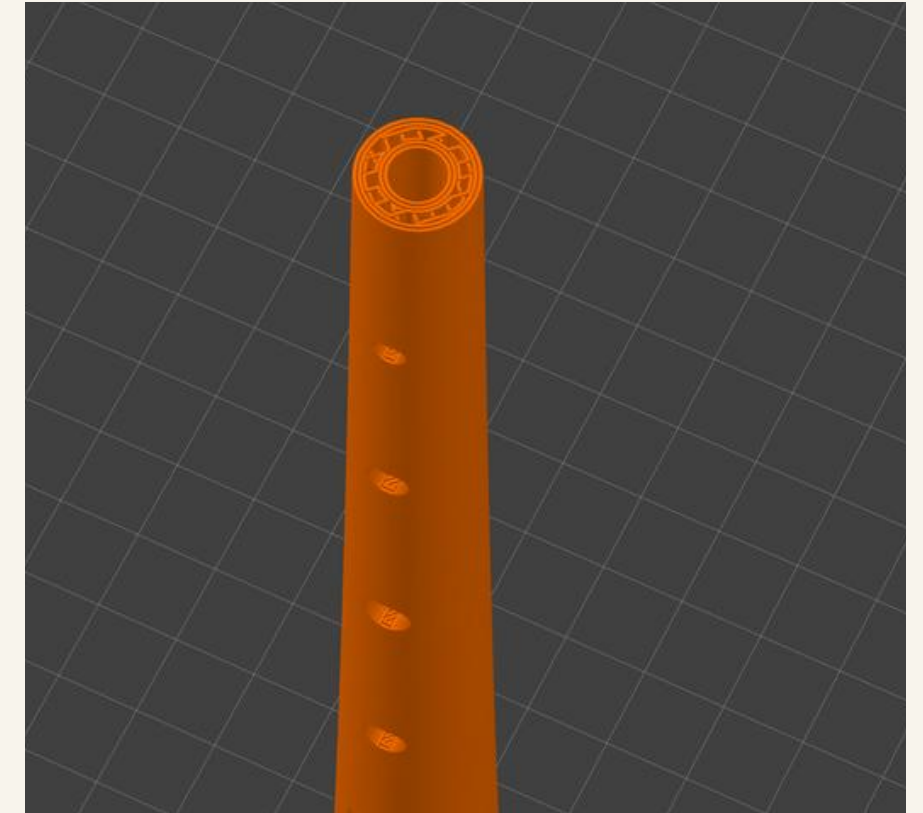
- Altura de capa.
- Cama caliente y balsa.
- Orientación: paralelo al eje Z.
- Soportes.
- Fallos en los agujeros.



Previsualización Modelo
PrusaSlicer

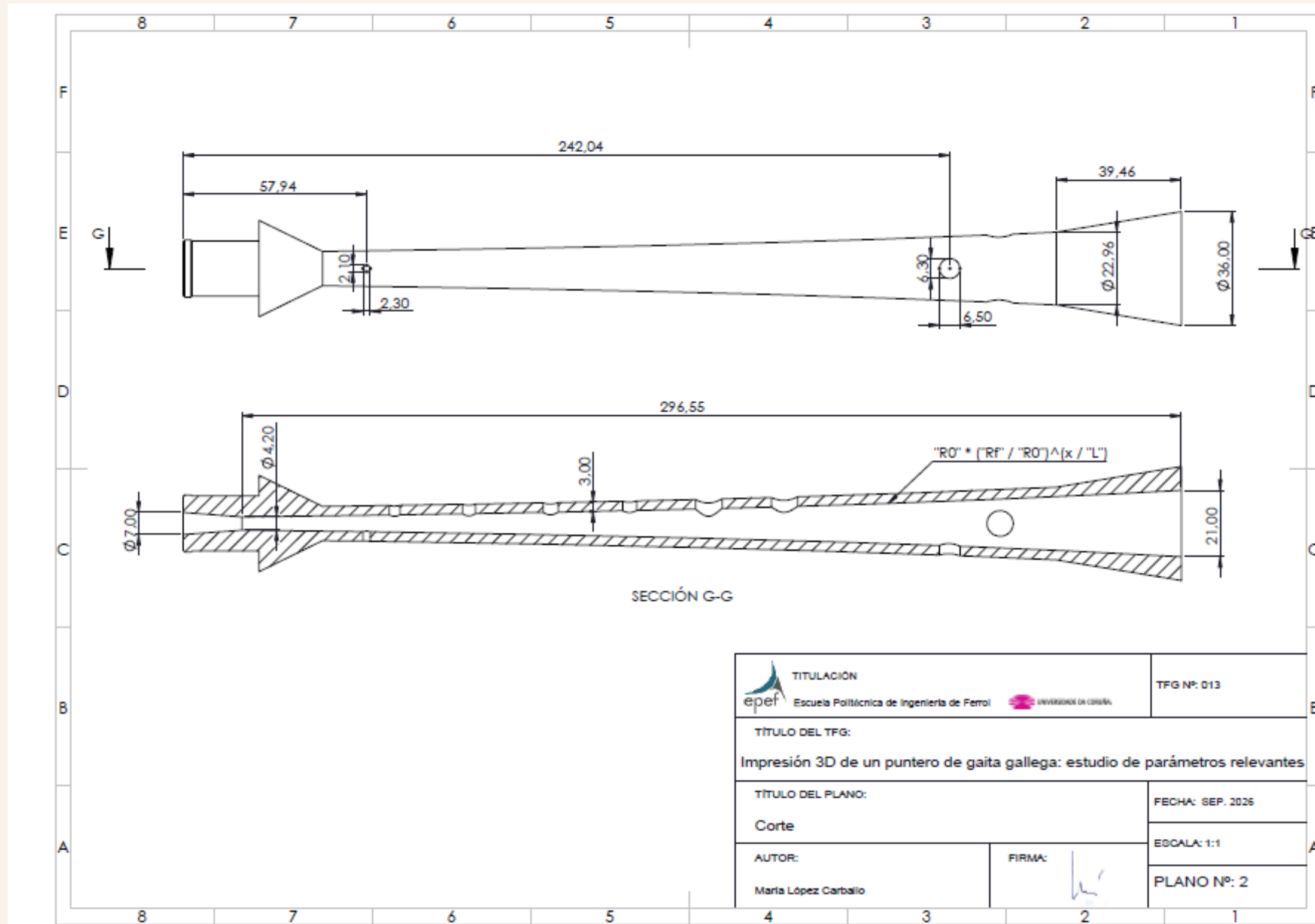


Prototipo Impreso

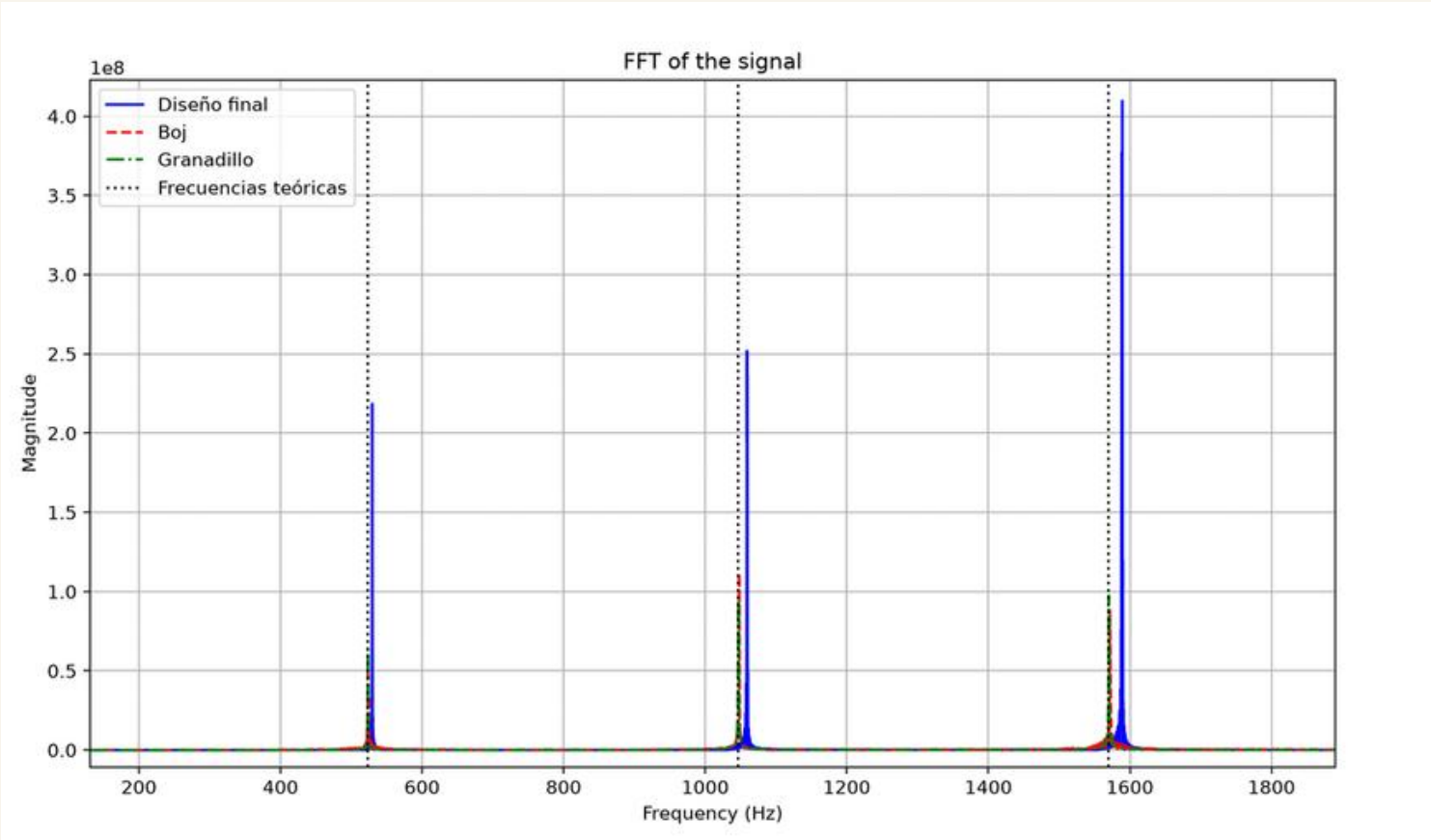


Detalle del Relleno

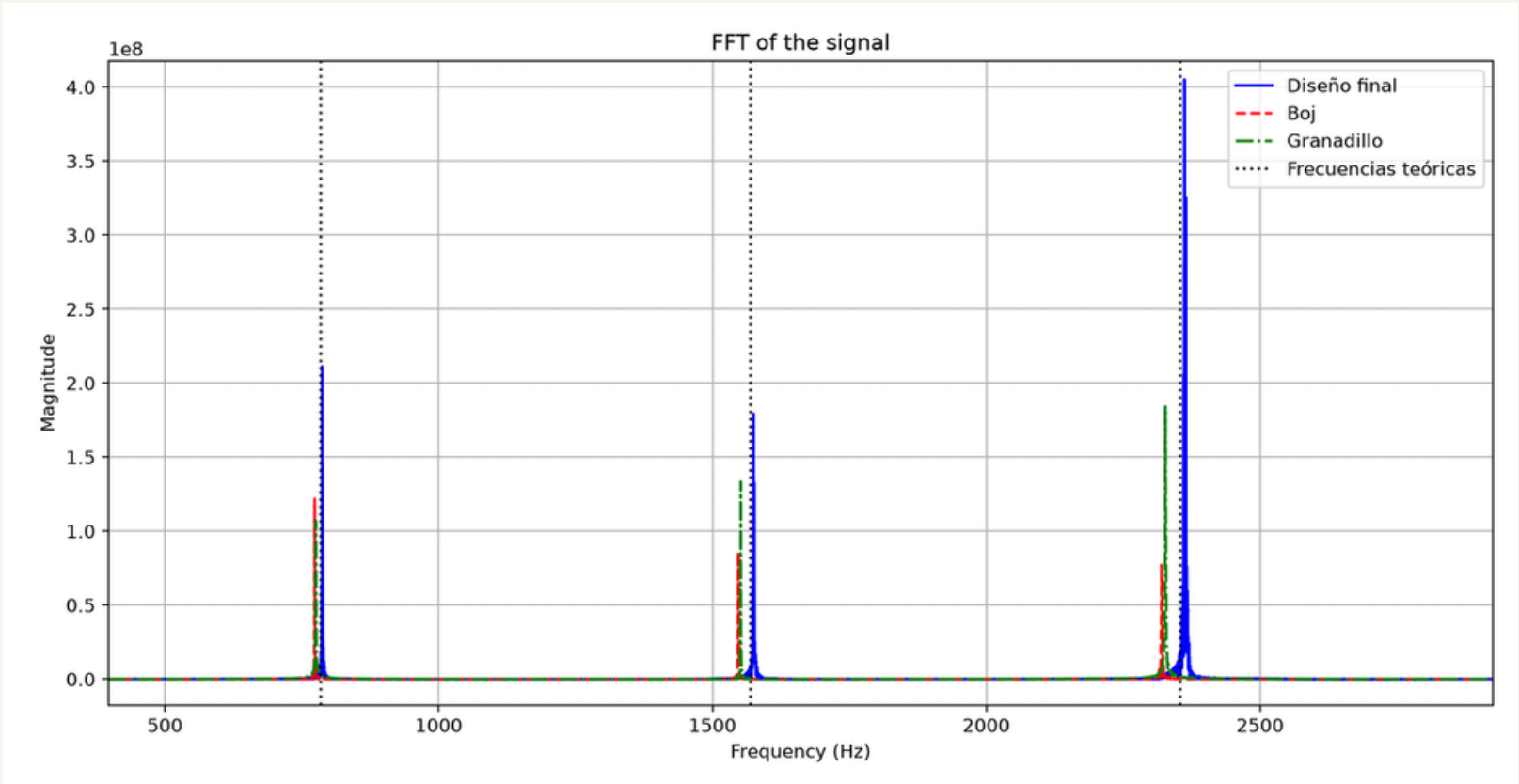
Resultado Final



Resultado Final



FFT Do 5



FFT Sol 5

Resultado Final



A Camposa

Resultado Final



Lila (Pedro Lamas) – Obra para Dúo de Gaitas

Estudio Económico

Concepto	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
kg PLA	0,663	18,000	12,60
h ingeniería	300,000	18,000	5.400,00
h uso impresora 3D Prusa XL	78,000	0,200	15,60
h uso equipo informático	300,000	0,500	150,00
Brocas y escariadores	1,000	30,000	30,00
h uso micrófono ATM350U	20,000	0,002	0,04
h uso interfaz Focusrite Scarlett 2i2 (3rd Gen)	20,000	0,010	0,20
h uso manómetro	20,000	0,001	0,02
IMPORTE TOTAL			5.608,46

Presupuesto de ejecución

Concepto	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
kg PLA	0,051	18,00	0,97
h uso impresora 3D Prusa XL	6,000	0,20	1,20
IMPORTE TOTAL			2,17

Coste estimado de un puntero

Conclusiones

- Estudio de la gaita, fabricación aditiva, influencia de materiales en instrumentos de viento.
- Revisión bibliográfica relacionada con aspectos físicos del sonido: importancia de la columna de aire interna.
- Selección de la herramienta de diseño.
- Análisis de las gráficas de impedancia para realizar un diseño final válido.
- Diseño de punteiros de gaita gallega.
- Producción mediante FDM empleando PLA.
- Diseño final: digitación tradicional, producción económica, disminución tiempos de espera, facilitando el acercamiento a la música tradicional.
- Posibles líneas de investigación futuras: estudio influencia palleta, punteiro con sistema de llaves, diseño de las otras partes de la gaita empleando la misma herramienta.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

María López Carballo