



# Diseño y construcción de una impresora 3D- FFF de 5 ejes

Alumno: Daniel Bielsa Nieto

Tutor: José Fernando Valera Jiménez



# Índice de contenido

**01**

**Introducción**

**02**

**Objetivos**

**03**

**Desarrollo técnico**

**04**

**Resultados**

**05**

**Conclusiones**

# INTRODUCCIÓN

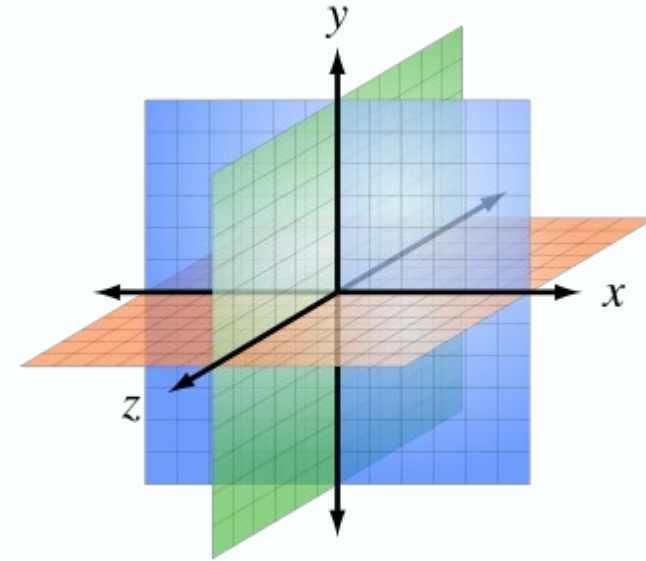
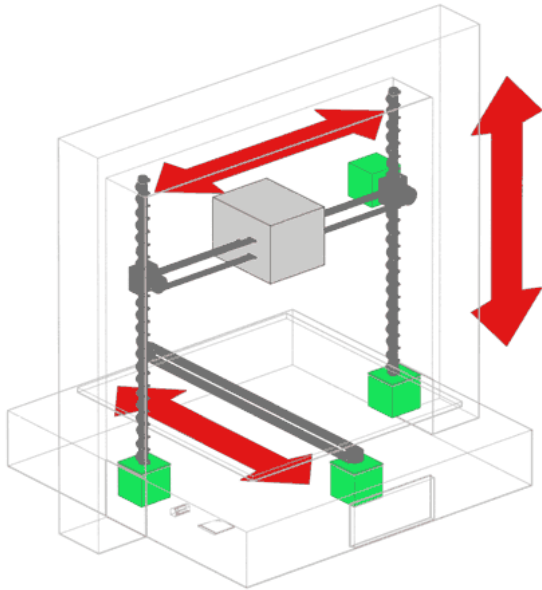
## ¿En qué consiste la impresión 3D-FFF?

- FFF significa *Fused Filament Fabrication* (Fabricación por Filamento Fundido).
- La impresora deposita material plástico fundido capa por capa hasta formar un objeto tridimensional.
- Usa un filamento termoplástico (ABS, PLA, PETG...) que se calienta en un extrusor y se deposita mediante una boquilla.
- El objeto se construye sobre una base móvil, siguiendo un modelo digital (archivo STL/G-code).

# Impresoras 3D-FFF convencionales

## Principales características

- Movimiento en 3 ejes (X, Y, Z).
- Uso de filamentos termoplásticos preconfigurados por el fabricante.

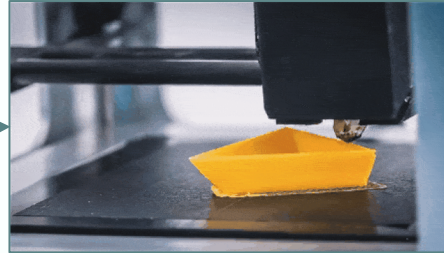


- Construcción por deposición de capas horizontales.
- Necesidad de soportes.

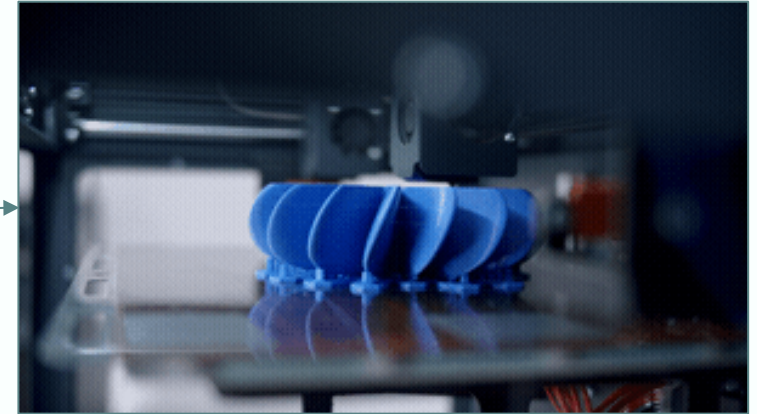
# Limitaciones de las impresoras 3D-FFF de 3 ejes

- **Geometrías restringidas**

Sólo capas horizontales superpuestas.



La impresión de voladizos requiere soportes y disminuye la calidad final.



- **Orientación fija de extrusión**

No puede adaptar el ángulo de impresión al contorno de la pieza.



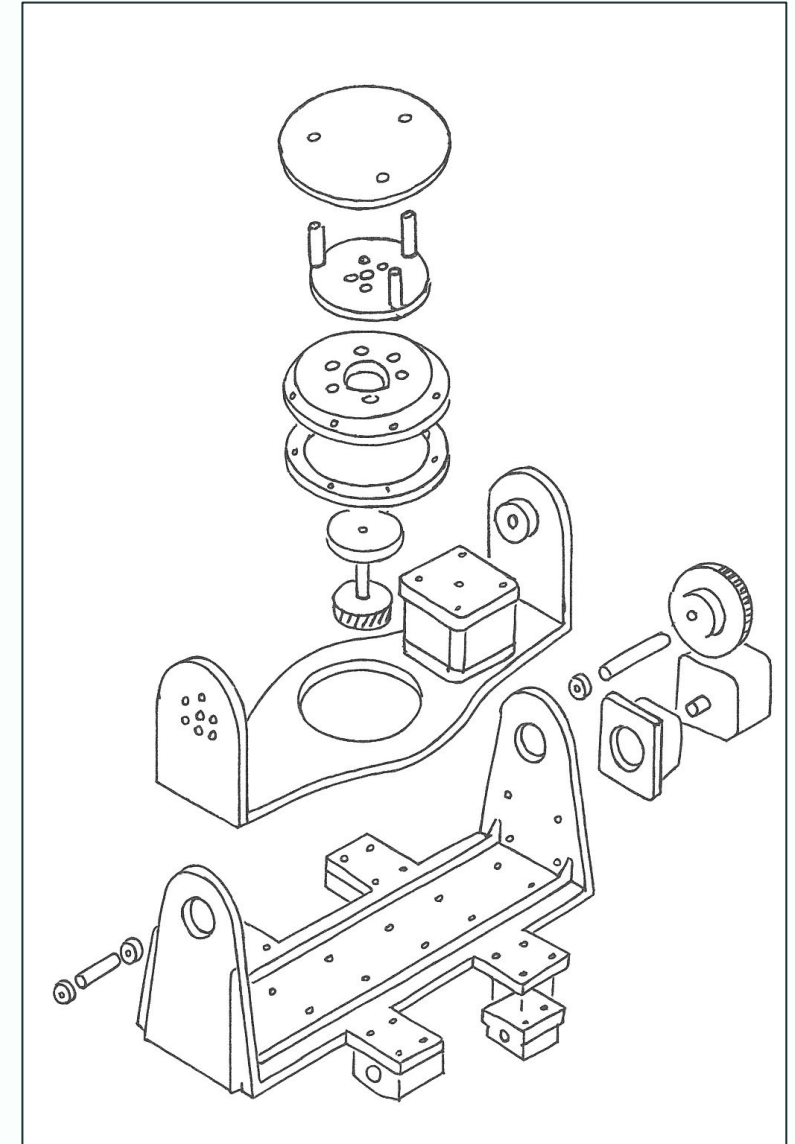
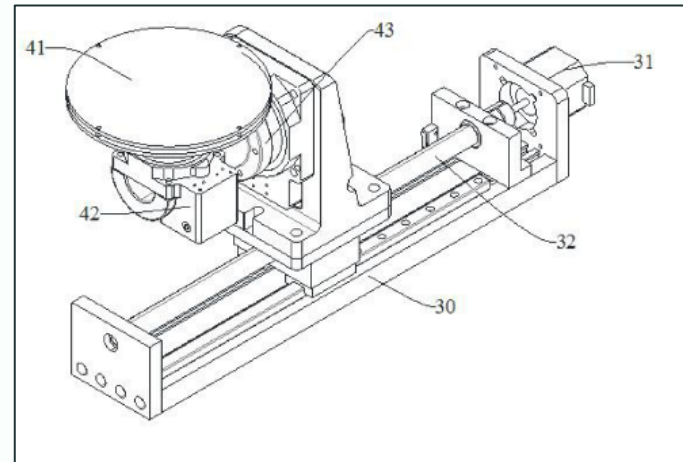
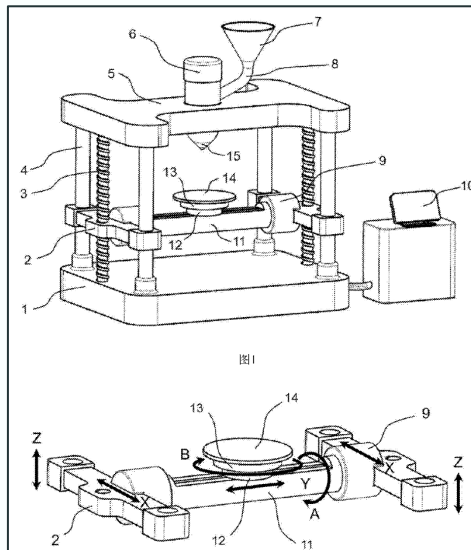
# **OBJETIVOS**

- **Diseñar, fabricar y optimizar las piezas que conforman el sistema, mediante software CAD e impresión 3D-FFF.**
- **Fabricar piezas complejas con geometrías en voladizo sin la necesidad del uso de soportes tradicionalmente asociados a la impresión 3D-FFF de 3 ejes.**
- **Desarrollar códigos G específicos (G-codes) para la impresión 3D-FFF de 5 ejes.**
- **Demostrar la viabilidad de esta tecnología para la aplicación de recubrimientos en componentes, como prueba de concepto de la deposición de colectores de corriente sobre electrodos con geometrías alternativas.**

# DESARROLLO TÉCNICO

## Diseño mecánico y CAD

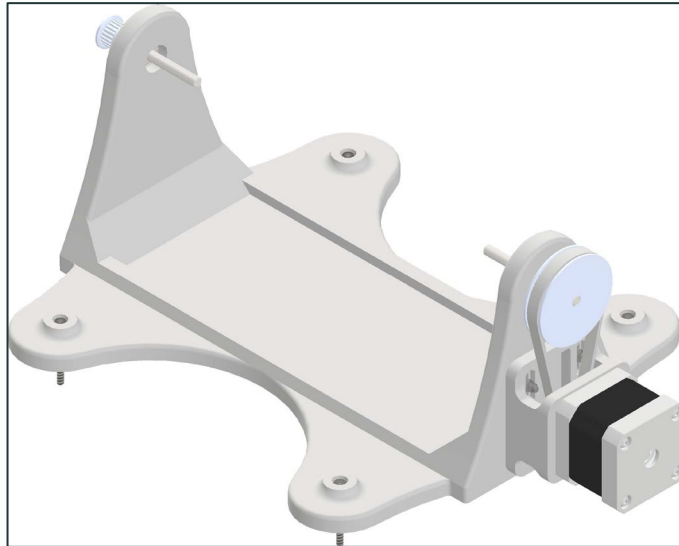
El proceso de diseño se adaptó a piezas normalizadas (plato giratorio, servomotores y rodamientos), previamente a modelar las partes impresas en 3D.



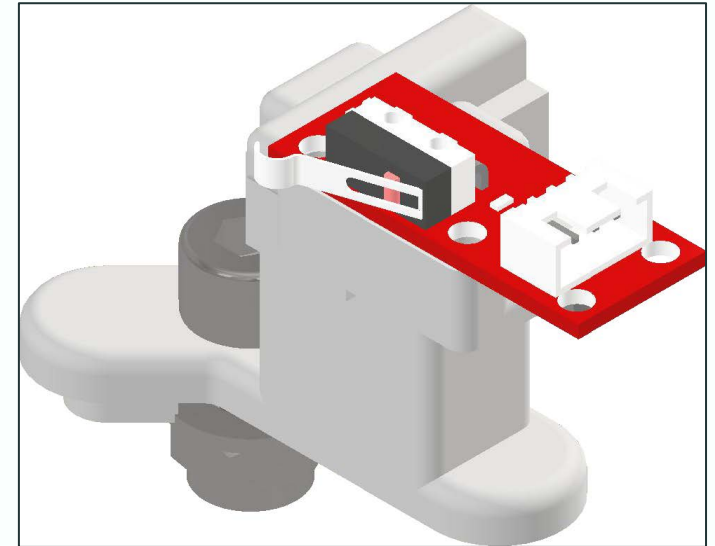
## Conjuntos de componentes de la impresora



**Conjunto carro eje V**

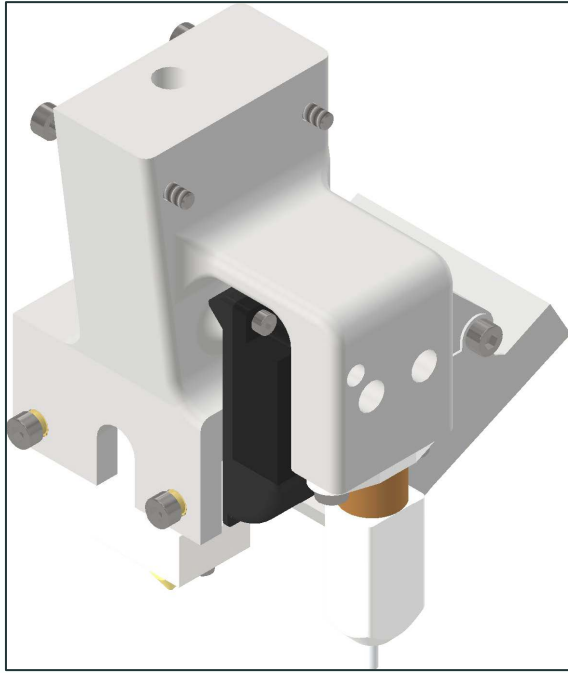


**Conjunto carro eje U**

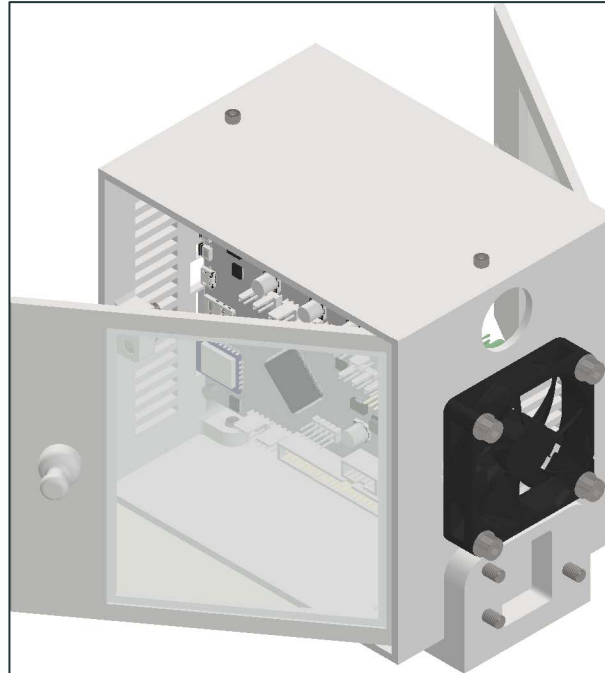


**Conjunto switch eje U**

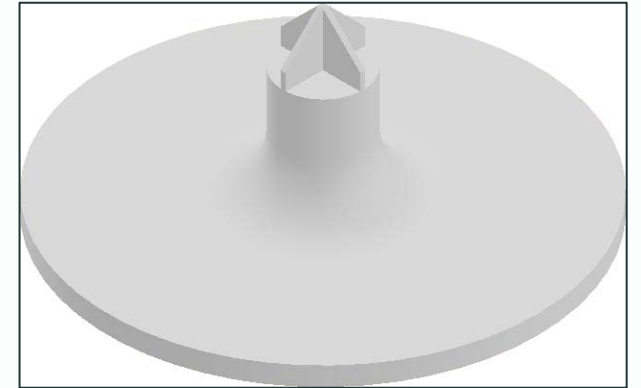




**Conjunto extrusor**



**Conjunto caja electrónica**



**Centrador**

## Hardware empleado

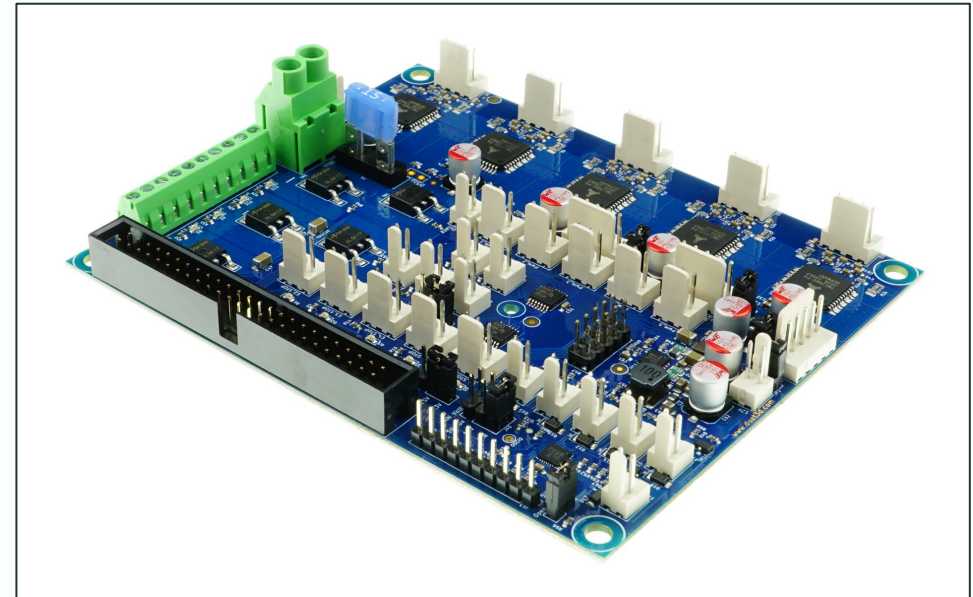


### Duet 2 Wifi

Controladora de impresoras 3D de código abierto. Integra RepRapFirmware y cuenta con una amplia comunidad de usuarios en GitHub.

### DueX5

Expansión de la Duet 2 Wifi que añade hasta 5 motores adicionales y múltiples entradas y salidas.



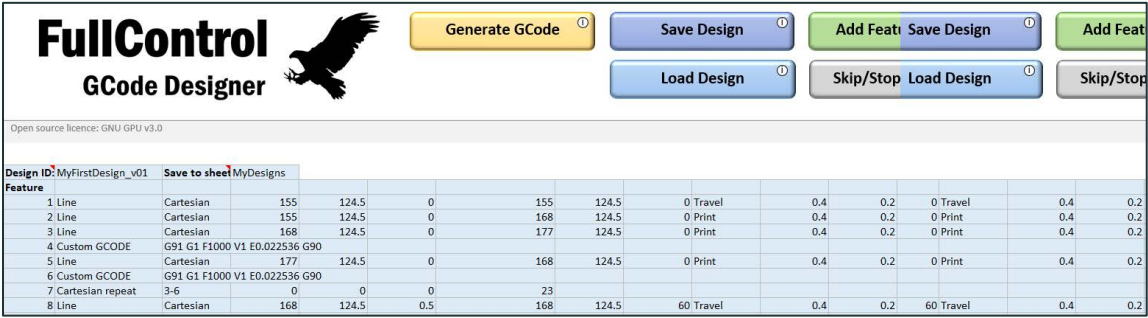
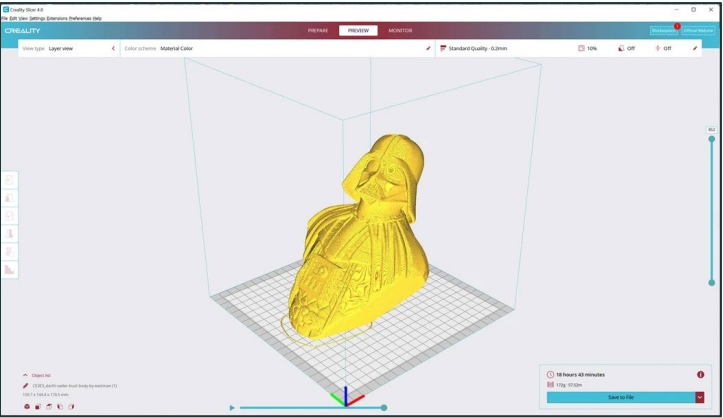
# Software laminador

Geometrías complejas que requieren soportes

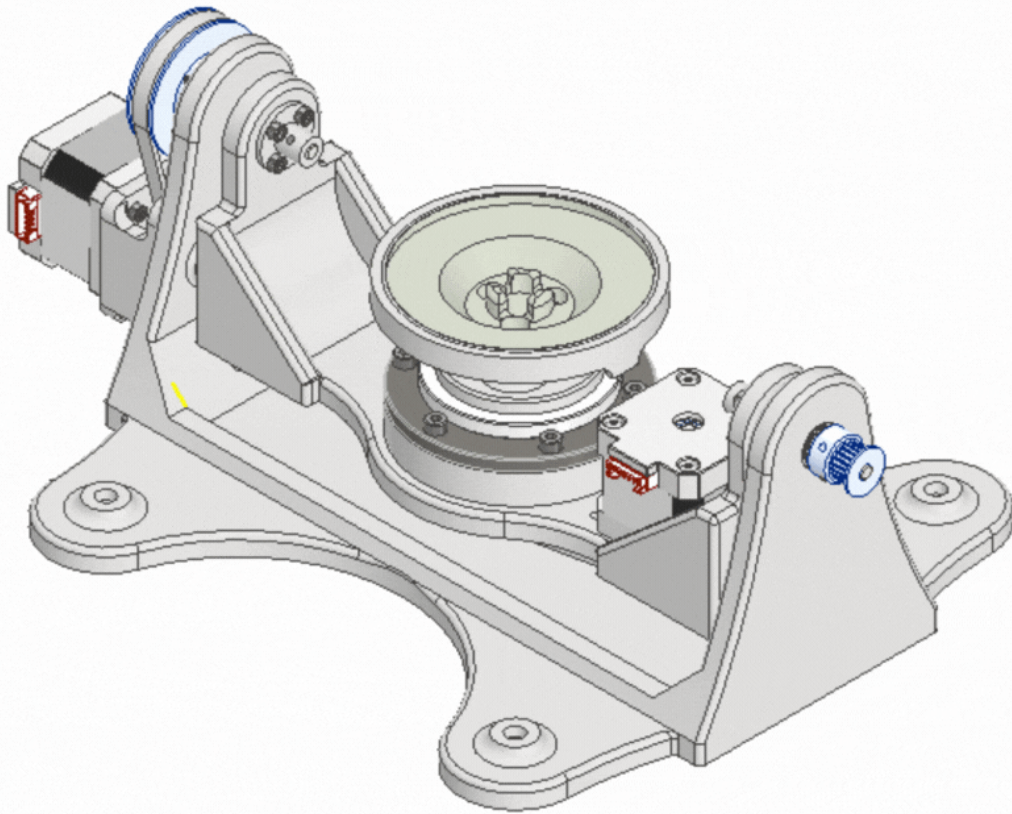
Creality Slicer

Recubrimientos

FullControl



# Creación de geometrías con Creality Slicer



Impresión del prisma principal (rojo)

Giro de 90° en el eje U

Impresión del prisma cuadrangular  
(amarillo)

Giro de 90° en el eje V

x3

## Recubrimientos con FullControl

FullControl permite la creación personalizada de Gcodes, las características empleadas fueron:

- Segmentos de trayectoria: Movimientos lineales o curvos del cabezal, con o sin extrusión.

Line	Cartesian	155	124.5	0	155	124.5	0	Travel
Line	Cartesian	155	124.5	0	168	124.5	0	Print

- Cadenas Gcode personalizadas: Movimiento para los dos ejes adicionales.

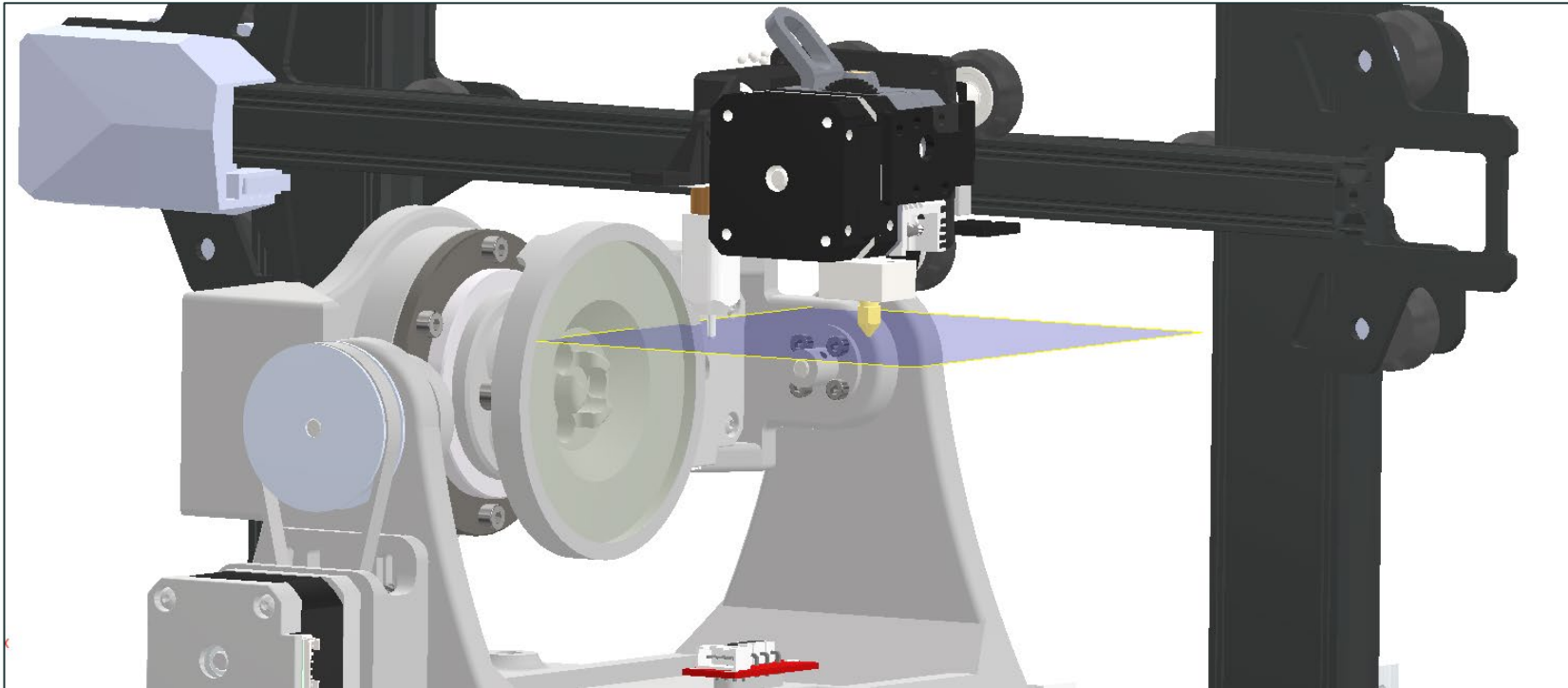
Custom GCODE	G91 G1 F1000
--------------	--------------

- Repeticiones: Repetición de segmentos de código.

Cartesian repeat	3-6	0	0	0	23
------------------	-----	---	---	---	----

# Principales problemáticas y su solución

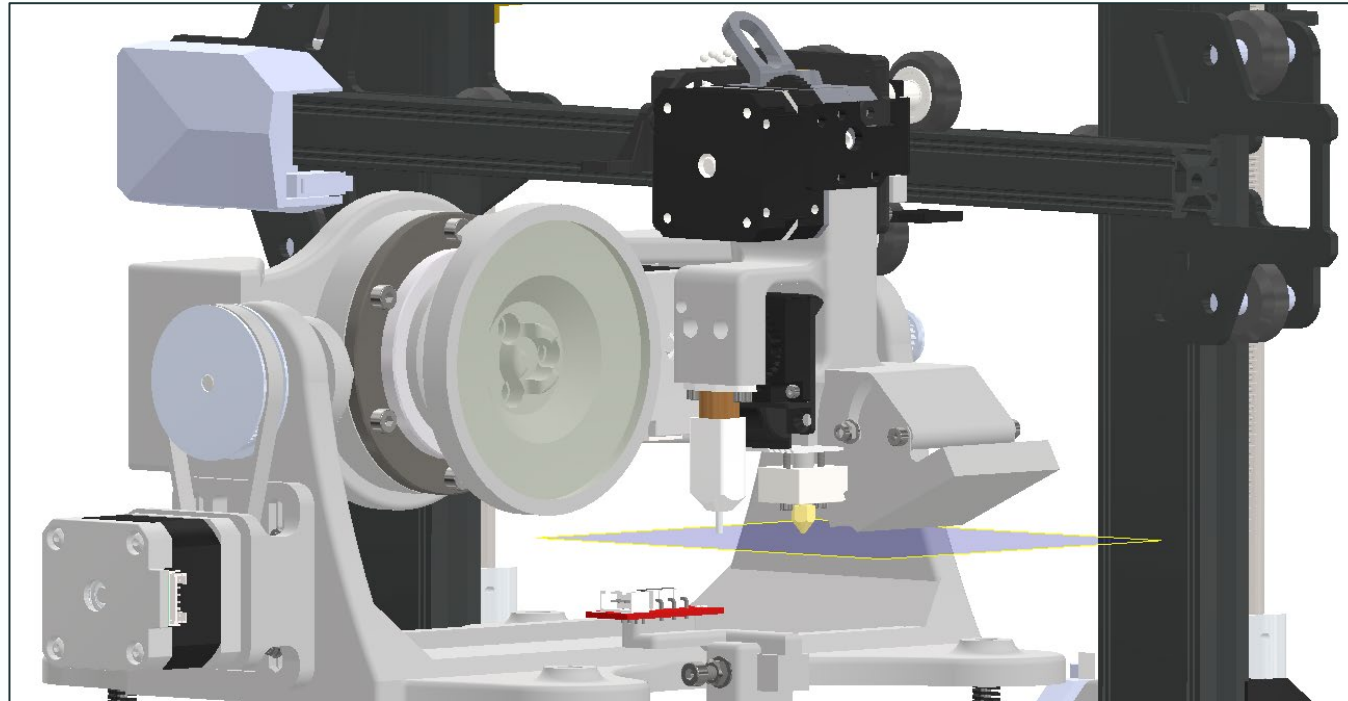
1. Limitación dimensional en la creación de piezas debido a la altura del conjunto extrusor.



✕ La superficie de impresión colisiona con el chasis de la impresora.



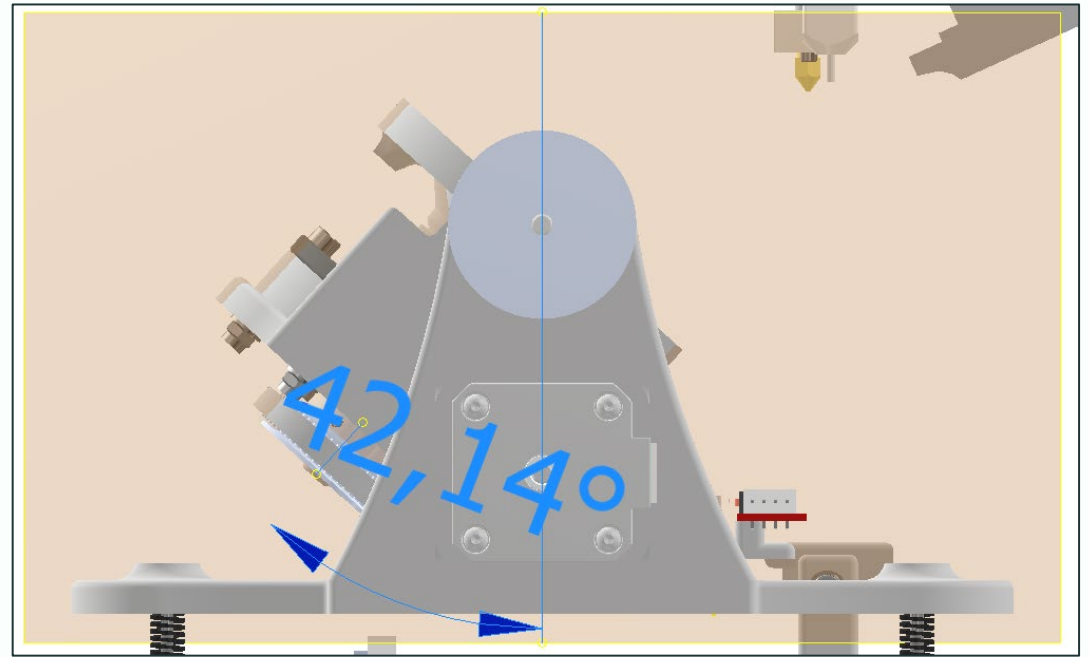
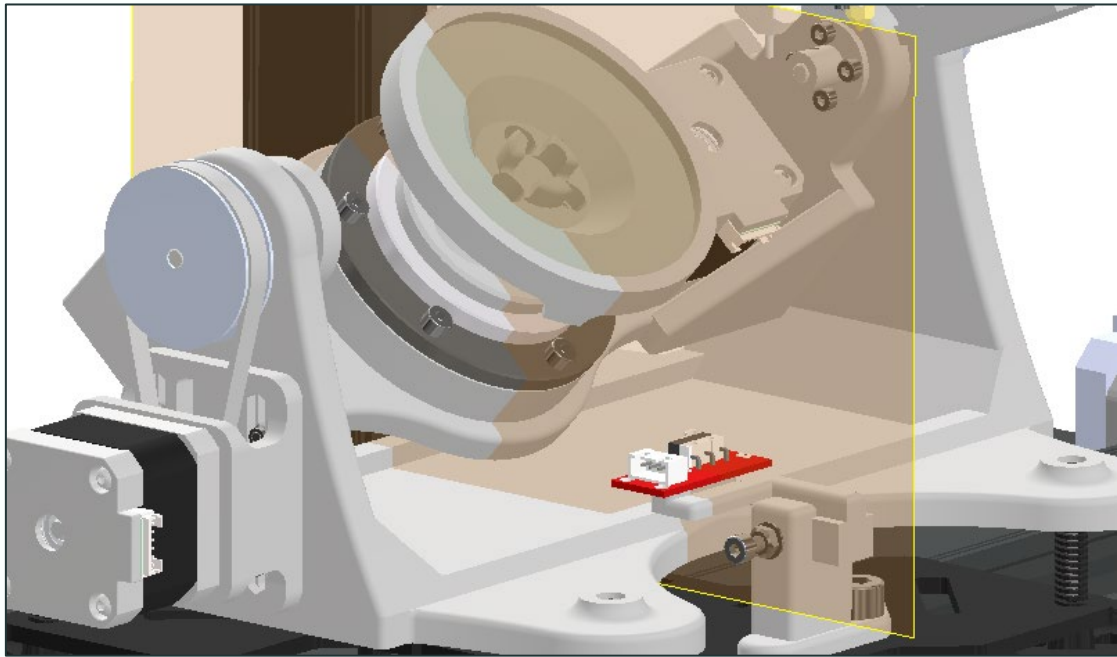
**Solución:** Diseño de un nuevo conjunto extrusor que aporte distancia al chasis de la máquina, una vez realice el giro el eje U.



- ✓ Se solucionan los problemas de colisión.
- ✓ El nuevo conjunto extrusor puede desplazarse a los extremos de la superficie de impresión.

# Principales problemáticas y su solución

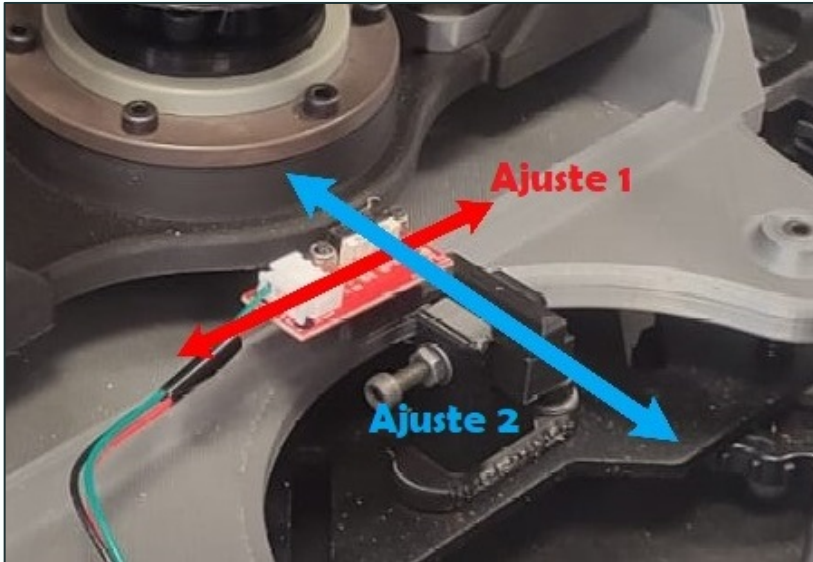
## 2. Ubicación del conjunto del eje V en el plano XZ. (Home U)



✗ La posición angular del eje U no se encuentra definida.

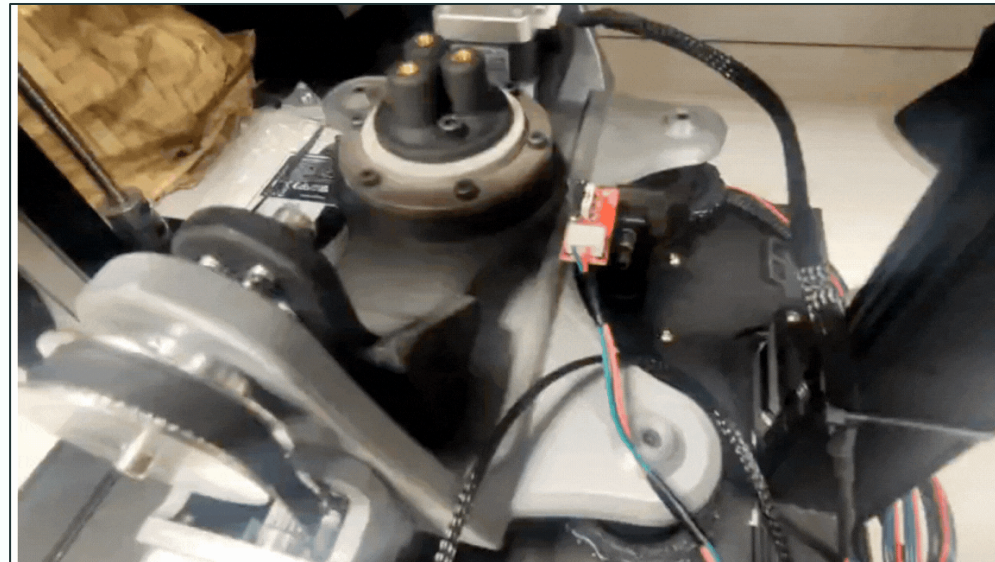
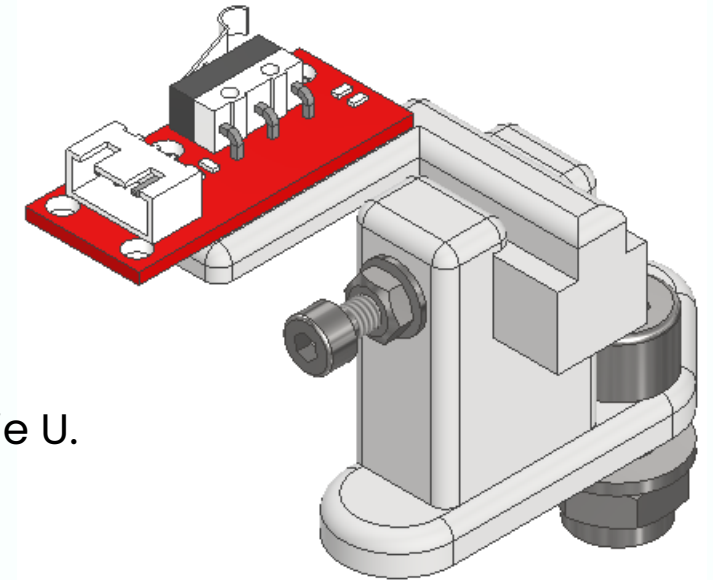


**Solución: Diseño de un mecanismo con interruptor de límite.**



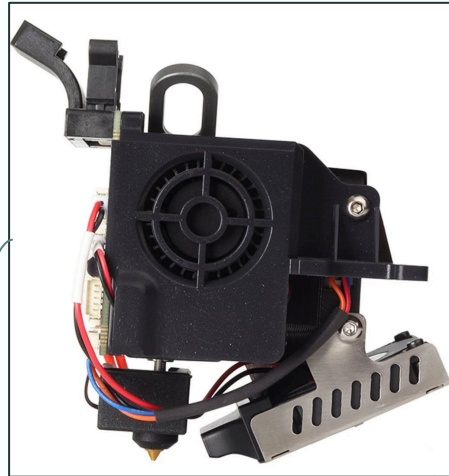
- ✓ Permite ajustar la posición de contacto con el conjunto del eje V.

- ✓ No interfiere en el giro del eje U.

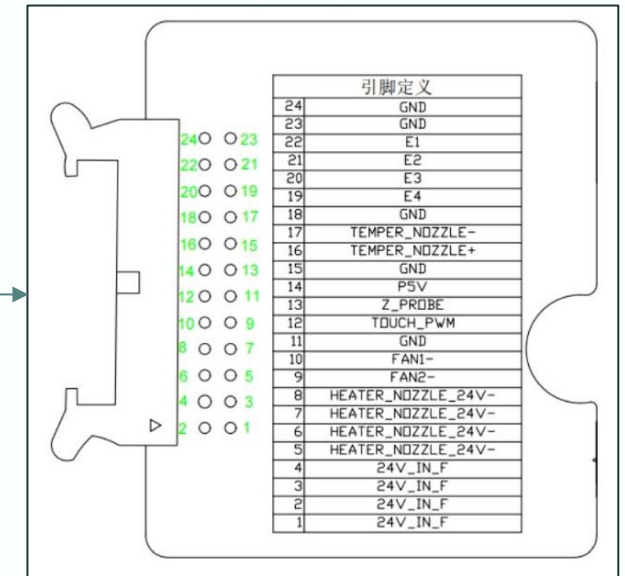


# Principales problemáticas y su solución

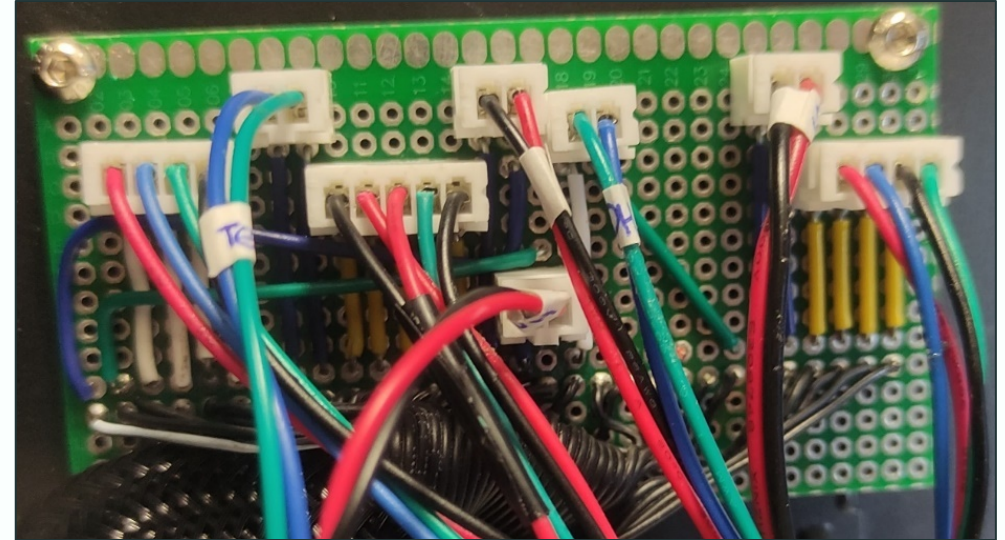
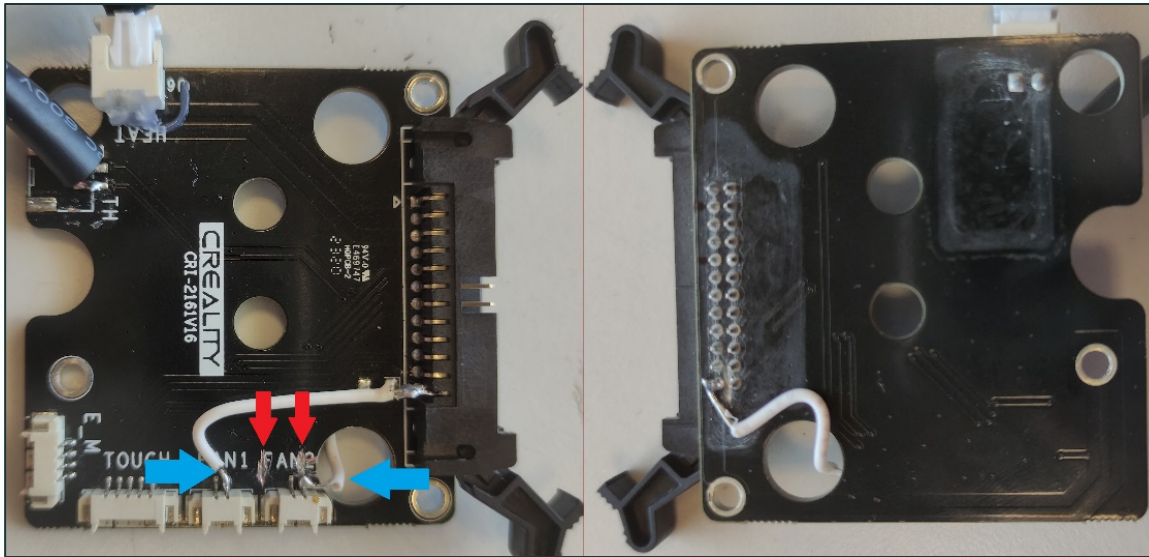
## 3. Integración del sistema de extrusión, ya existente.



La electrónica original usa la alimentación positiva (V+) como referencia común a sus señales, la placa Duet2Wifi precisa emplear la línea de masa (GND).



## **Solución: Reubicación del cableado mediante placa PCB y conexiones JST.**



- ✓ Se solucionan los problemas de interferencia electrónica en ventilación para la disipación térmica.
- ✓ Se mantiene el sistema de extrusión directa originario de la impresora base.



# Nivelación general

- **Nivelación ejes X e Y**

La impresora determina su punto de origen en los ejes X, Y.

- **Nivelación eje Z**

Mediante el BLTouch, una pequeña sonda (pin) detecta la coordenada en Z en que toca la cama y determina el origen del eje Z.

- **Nivelación eje U**

Posicionamiento angular mediante contacto con el interruptor de límite del carro del eje U.

## Ejecución de macros

Son conjuntos de instrucciones predefinidas (habitualmente en formato Gcode o comandos específicos del firmware) que permiten automatizar tareas repetitivas en la impresora 3D. Los principales son:

- **Go\_to\_Hottend\_middle**

Posicionamiento de la boquilla en el centro de la cama.

- **Go\_to\_BLTouch\_middle**

Posicionamiento del BLTouch en el centro de la cama.

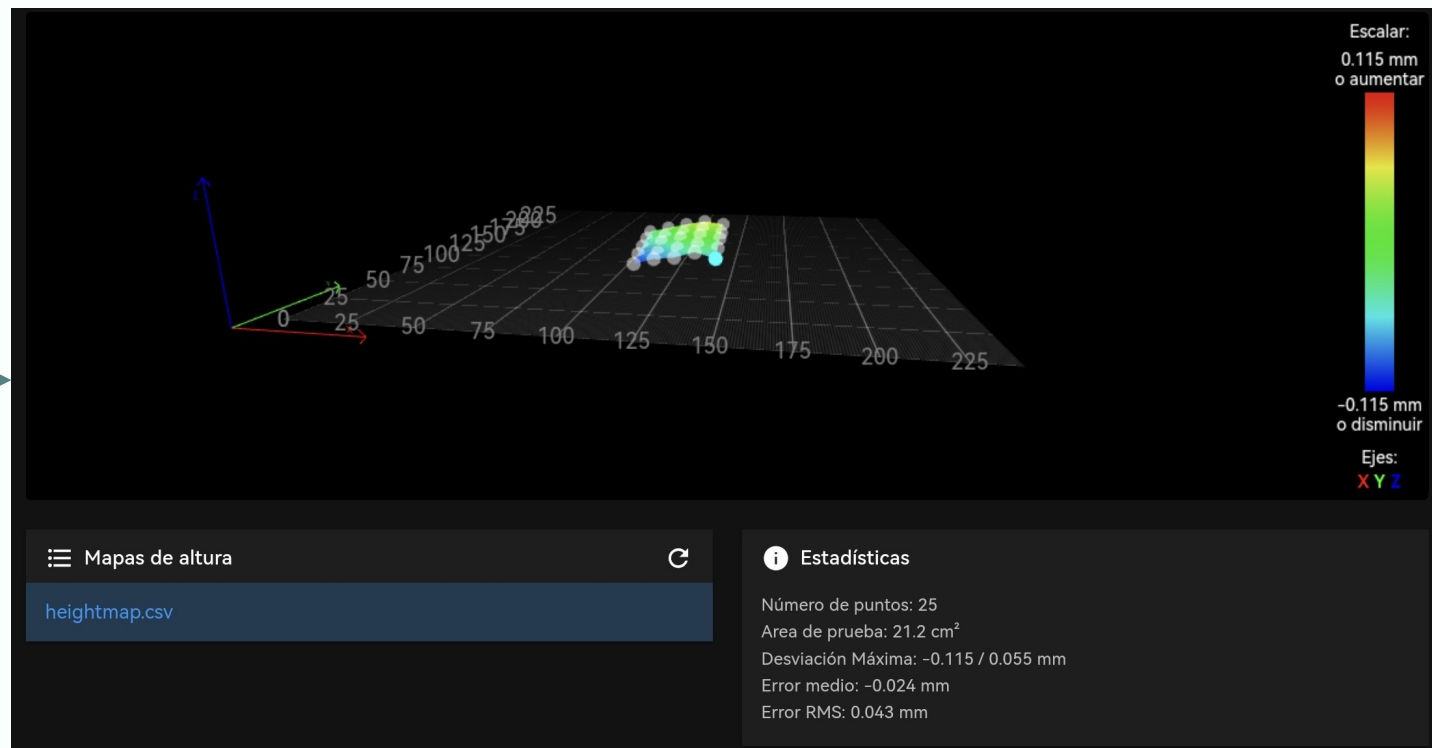
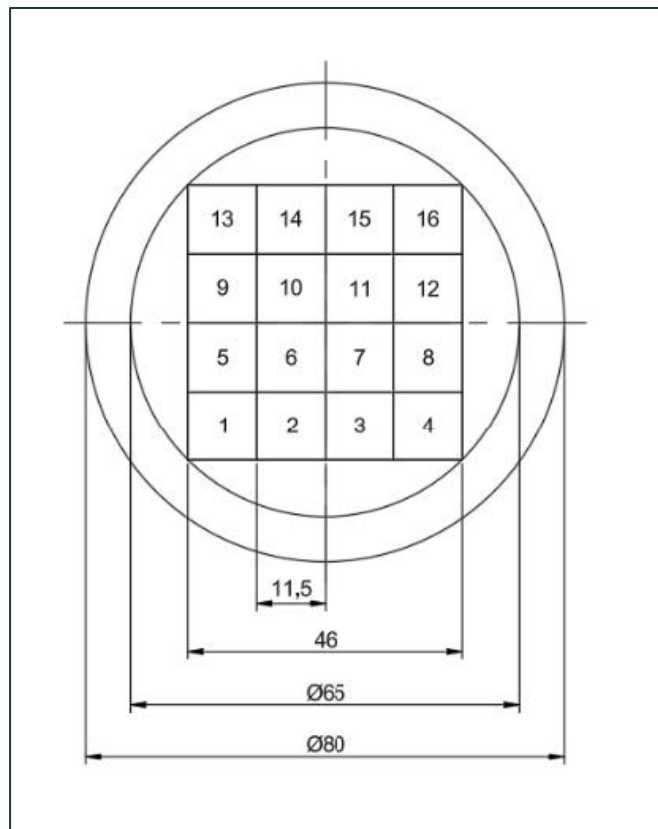
- **X0Y0**

Posicionamiento de los ejes en su origen.



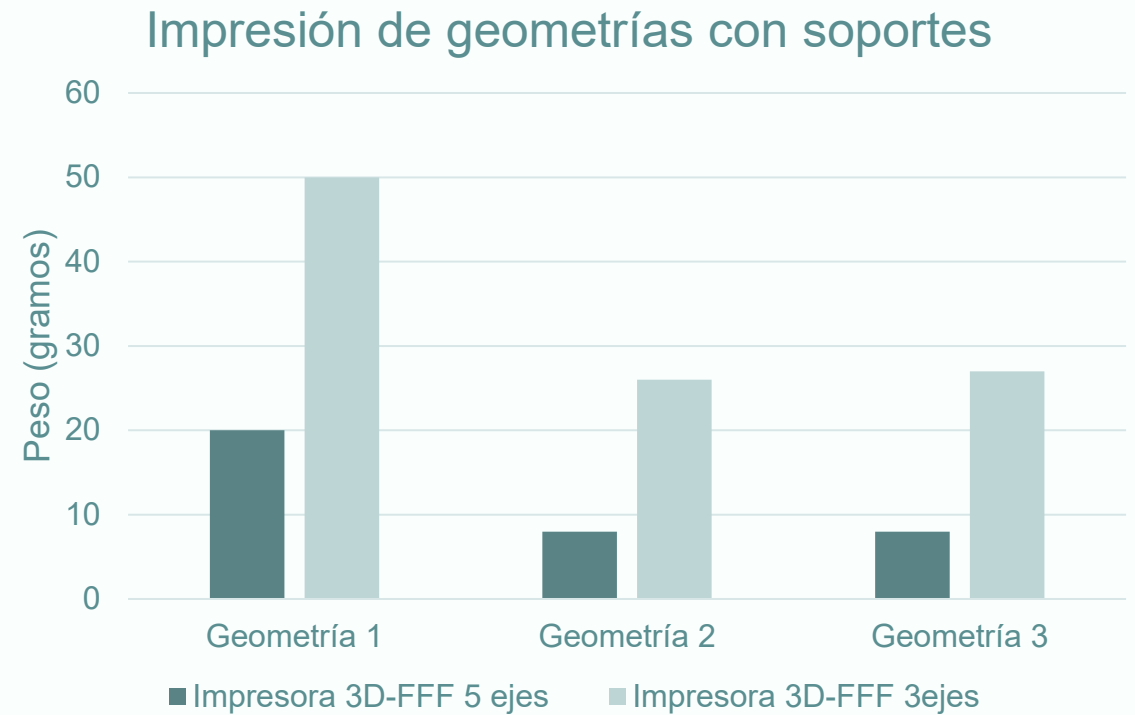
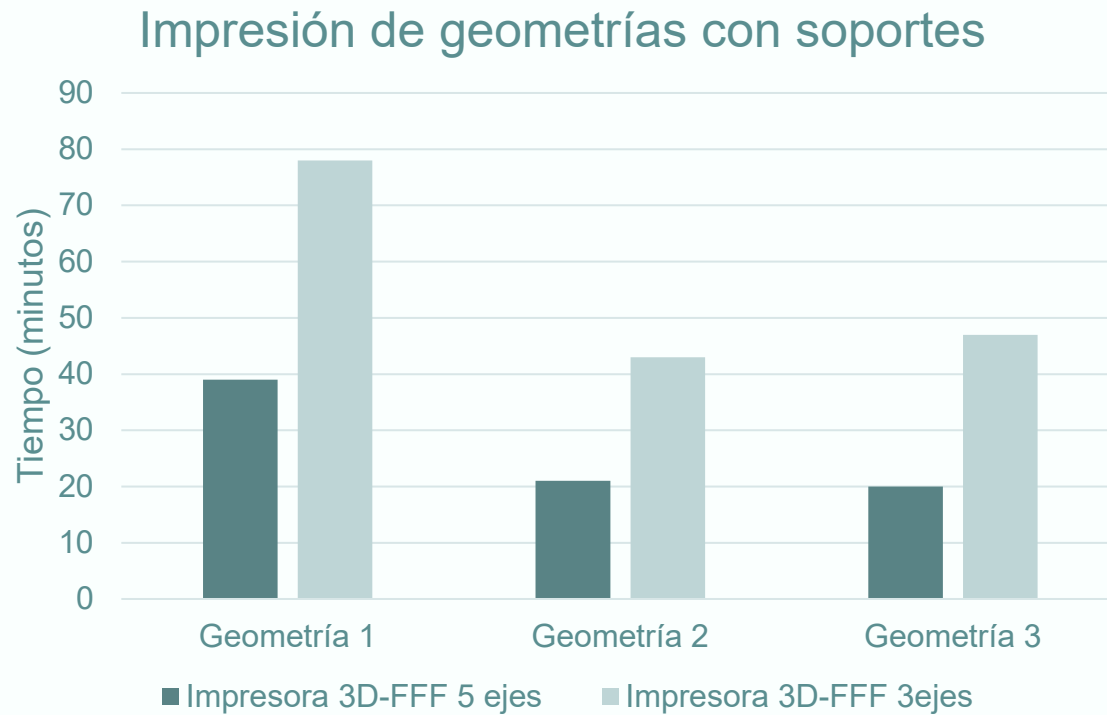
## ● Compensation

Mediante el BLTouch se establece un mapa de altura.

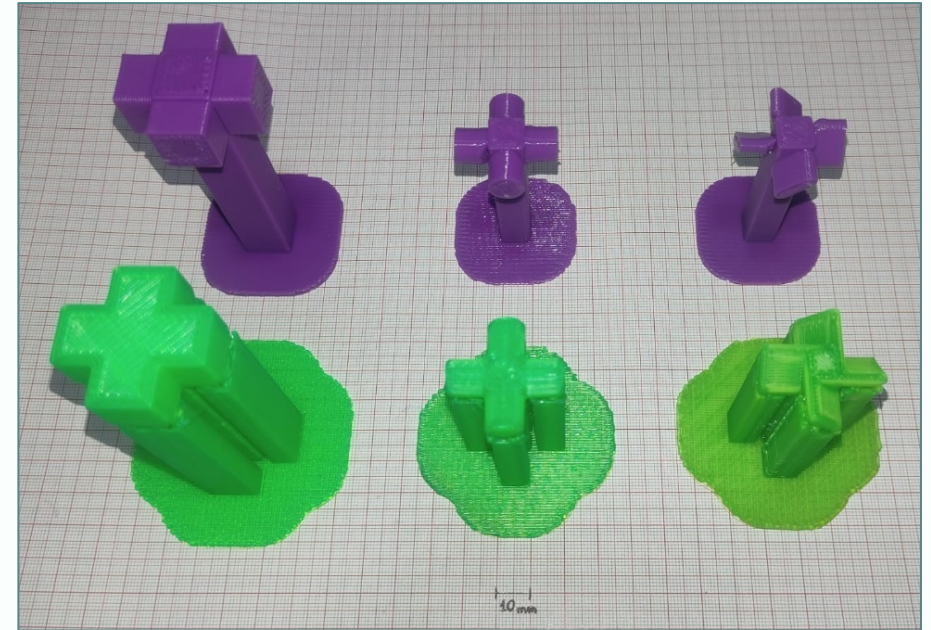


**;Mesh bed compensation**  
**M557 X90:136 Y139.5:185.5 S11.5:11.5;**

# Comparativa con las impresoras 3D-FFF convencionales de 3 ejes



	Creality Ender CR-6 SE	Impresora 3D-FFF 5 ejes
<b>Geometría 1</b>	1h 18min 50g	39min 20g
<b>Geometría 2</b>	43min 26g	21min 8g
<b>Geometría 3</b>	47min 27g	20min 8g



Reducción del tiempo de impresión en un 50%



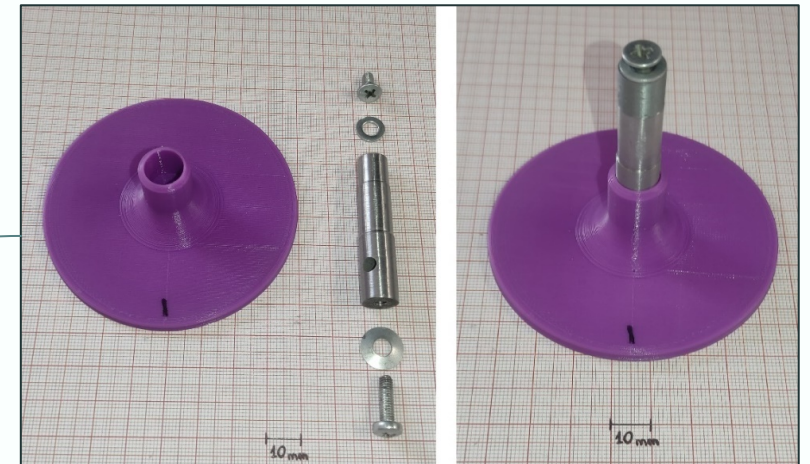
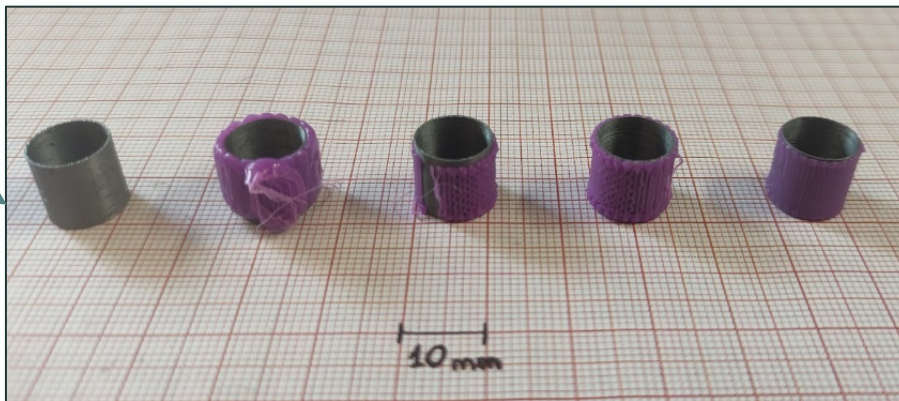
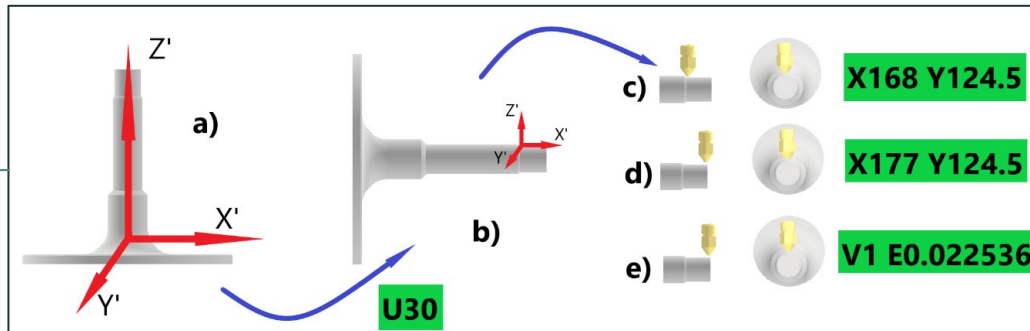
Eliminación de soportes, reducción del gasto de material entre un 60% y 70%



# RESULTADOS

## 3D\_Enermat\_Probe


Empleo del BLTouch para localizar el nuevo origen en el eje Z, de forma predefinida para la impresión de recubrimientos.



# Recubrimientos

## FullControl

### GCode Designer



Generate GCode ⓘ

Save Design ⓘ

Add Feature ⓘ

Save Design ⓘ

Add Feature ⓘ

Load Design ⓘ

Skip/Stop Load Design ⓘ

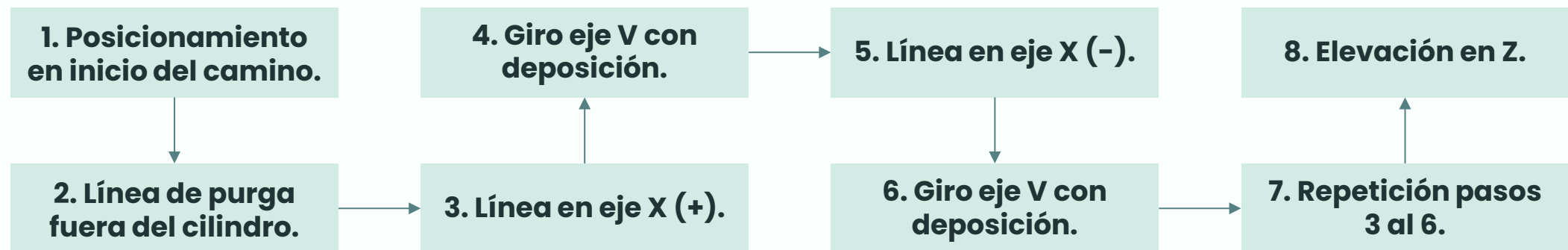
Skip/Stop Load Design ⓘ

Open source licence: GNU GPL v3.0

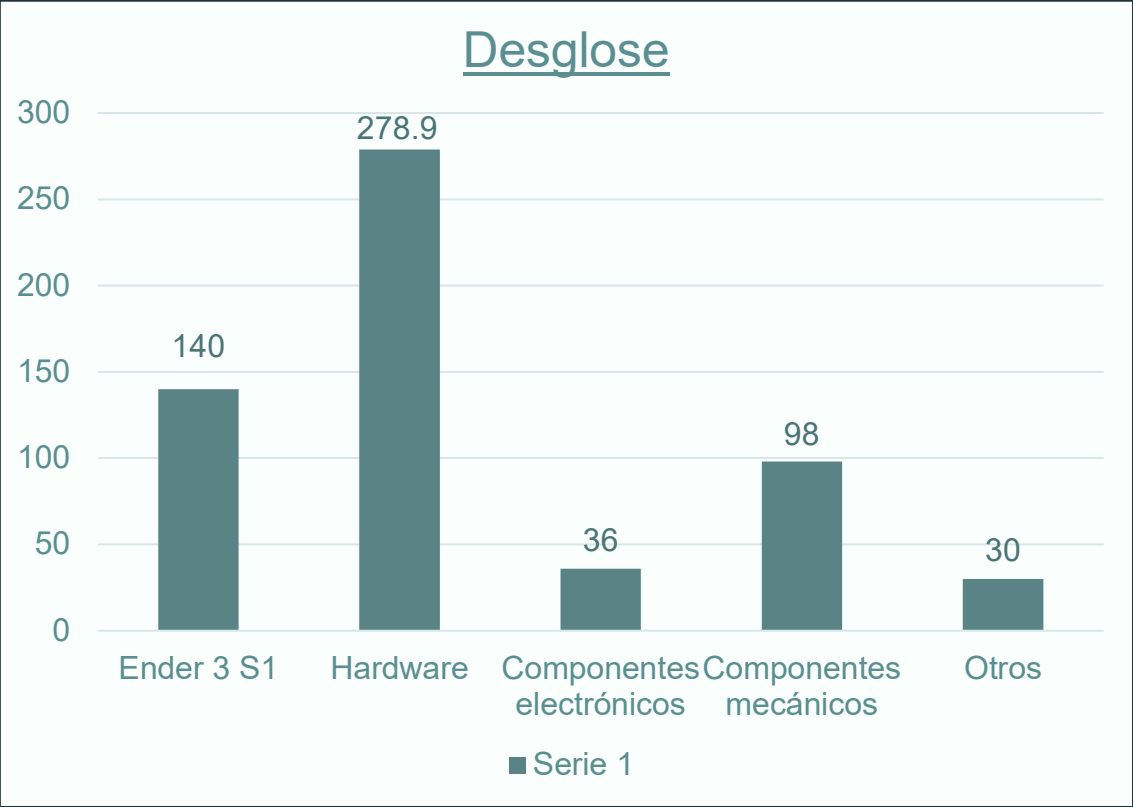
Design ID: MyFirstDesign\_v01

Save to sheet MyDesigns

Feature														
1 Line	Cartesian	155	124.5	0	155	124.5	0 Travel	0.4	0.2	0 Travel	0.4	0.2		
2 Line	Cartesian	155	124.5	0	168	124.5	0 Print	0.4	0.2	0 Print	0.4	0.2		
3 Line	Cartesian	168	124.5	0	177	124.5	0 Print	0.4	0.2	0 Print	0.4	0.2		
4 Custom GCODE	G91 G1 F1000 V1 E0.022536 G90													
5 Line	Cartesian	177	124.5	0	168	124.5	0 Print	0.4	0.2	0 Print	0.4	0.2		
6 Custom GCODE	G91 G1 F1000 V1 E0.022536 G90													
7 Cartesian repeat	3-6	0	0	0	23									
8 Line	Cartesian	168	124.5	0.5	168	124.5	60 Travel	0.4	0.2	60 Travel	0.4	0.2		



# PRESUPUESTO



Elemento	Detalles técnicos	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Ender 3 S1		1	€ 140.00	€ 140.00
0.9 deg NEMA 17	17HS4401 (JST-XH)	2	€ 15.00	€ 30.00
Polea GT2 20 dientes	diam. int. 5mm	3	€ 1.68	€ 5.04
Polea GT2 60 dientes	diam. int. 8mm	1	€ 5.28	€ 5.28
Polea GT2 60 dientes	diam. int. 5mm	1	€ 7.20	€ 7.20
Correa GT2 200mm	Paso 2mm	1	€ 2.16	€ 2.16
Correa GT2 220mm	Paso 2mm	1	€ 2.16	€ 2.16
Rodamiento con brida F695ZZ	5x13x4 mm (brida de 15 mm)	2	€ 1.20	€ 2.40
Eje 5mm	Longitud de 55 mm	1	€ 0.90	€ 0.90
Eje 5mm	Longitud de 55 mm	1	€ 1.08	€ 1.08
Universal mounting hub	diam. Int. 5 mm	2	€ 5.40	€ 10.80
Plato giratorio	PRT-02-20-LC	1	€ 48.03	€ 48.03
Duet 2 Wifi/Ethernet	Duet_2_Wifi-EA_v1.05	1	€ 159.00	€ 159.00
DueX5	Duex5_v0.11	1	€ 119.90	€ 119.90
Cama de cristal de 80 mm	Vidrio borosilicato	1	€ 4.25	€ 4.25
Tubo PTFE	Longitud de 1 m	1	€ 1.70	€ 1.70
Rollo PLA impresión de piezas	Colores negro y gris	2	€ 15.00	€ 30.00
Tornillería y ferretería variada		1	€ 7.00	€ 7.00
Cableado y elementos de conexión		1	€ 6.00	€ 6.00
TOTAL:			€	582.90

# CONCLUSIONES

- **Movimiento multieje adaptativo**

Se ha logrado el movimiento simultáneo de los cinco ejes de la máquina.

- **Generación de Gcode personalizado**

Seguimiento de contornos no lineales y superficies curvas con una trayectoria configurada por el usuario.

- **Prueba de concepto para la aplicación de recubrimientos**

Aplicación directa de recubrimientos sobre electrodos con geometrías alternativas, demostrando que no son necesarios soportes ni procesos adicionales.

- **Costes de material y tiempos de impresión**

Reducción de tiempos en un 50%, y ahorros de material entre el 60% y 70%.

- **Viabilidad del proyecto**

Coste total de 582.90€

## Posibles mejoras

### **Cama calefactable**

Mejora en la adhesión de las piezas.

### **Materiales constructivos**

Mejora en la resistencia de las piezas.

### **Mejora en el sistema de extrusión**

Mayores velocidades de impresión, y mayores temperaturas.

### **Mayor superficie de impresión**

Menor limitación en la creación de piezas.

### **Carcasa de aislamiento**

Mantener una temperatura ambiente estable, y protección contra polvo y contaminantes.