



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**EPS**

Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Málaga

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

## **IMPRESORA 3D DE DOBLE EXTRUSOR INDEPENDIENTE PARA DOS MATERIALES**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**Autor:** D. CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA

**Tutor:** DR. D. JESÚS MANUEL GÓMEZ DE GABRIEL

**Junio de 2017**

*Este Trabajo Fin de Grado va dedicado a mi familia, por su apoyo incondicional, en especial a mis padres por el sacrificio que han hecho para llegar hasta aquí.*

*Agradecer también a mi tutor J. Manuel Gómez de Gabriel en primer lugar por darme la oportunidad de trabajar en un proyecto innovador del cual desconocía, que he descubierto y aprendido. En segundo lugar por toda la ayuda prestada, conocimientos y apoyo que sin ello no hubiese sido posible.*

*A mis amigos y compañeros por siempre estar ahí en tantos momentos bueno y malos.*

*Muchas gracias a todos!*

# IMPRESORA 3D DE DOBLE EXTRUSOR INDEPENDIENTE PARA DOS MATERIALES

D. Cristóbal Jesús Ramírez Ayala | Dr. D. Jesús Manuel Gómez de Gabriel

Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

Palabras Clave | Impresora 3D, FDM, ABS, Filaflex, Prusa MK2, RepRap.

## IMPRESORA 3D DE DOBLE EXTRUSOR INDEPENDIENTE PARA DOS MATERIALES

Este Trabajo de Fin de Grado consiste en el diseño de un sistema de impresión 3D por fusión de filamento termoplástico (FDM) que sea capaz de intercambiar o alternar entre varios materiales de manera automática, mediante la utilización de un sistema de doble extrusor con el objetivo de realizar impresión híbrida, que combine materiales con diferentes propiedades mecánicas, o de color, en una sola pieza.

Una vez decidido el diseño y modelo de partida (PRUSA i3 MK2), se han construido y ensamblado todos los componentes mediante el software de CAD (diseño asistido por computadora) SOLIDWORKS. Los diseños de las piezas son exportados a extensión STL, donde el software CURA cuartea el modelo en un código máquina (Gcode) y se obtiene los prototipos del diseño imprimiéndolos en otra impresora 3D, el material empleado es ABS.

Posteriormente con todos los elementos imprimibles y las vitaminas (componentes no imprimibles) se ejecuta el montaje y ensamblaje de la maquina en el taller del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingenierías Industriales de Málaga.

Además en la memoria descriptiva del TFG, se hace una breve introducción a las tecnologías existentes de impresión 3D, la descripción del montaje con consejos y advertencias, la descripción de los componentes mecánicos y electrónicos, así como un presupuesto estimado de la maquina además de un análisis de los proveedores más influyentes en este mercado.

Por último se cita la bibliografía usada para el desarrollo del TFG, así como las líneas de futuro desarrollo tanto en TFG como en el inmenso mundo de la impresión 3D, es una de las tecnologías habilitantes de la Industria 4.0.

# INDEPENDENT DUAL EXTRUDER 3D PRINTER

D. Cristóbal Jesús Ramírez Ayala | Dr. D. Jesús Manuel Gómez Gabriel

**Mechanical Engineering**

**Final Degree Project**

Key words: | **3D Printer, FDM, ABS, Filaflex, Prusa MK2, RepRap.**

## INDEPENDENT DUAL EXTRUDER 3D PRINTER FOR TWO MATERIALS

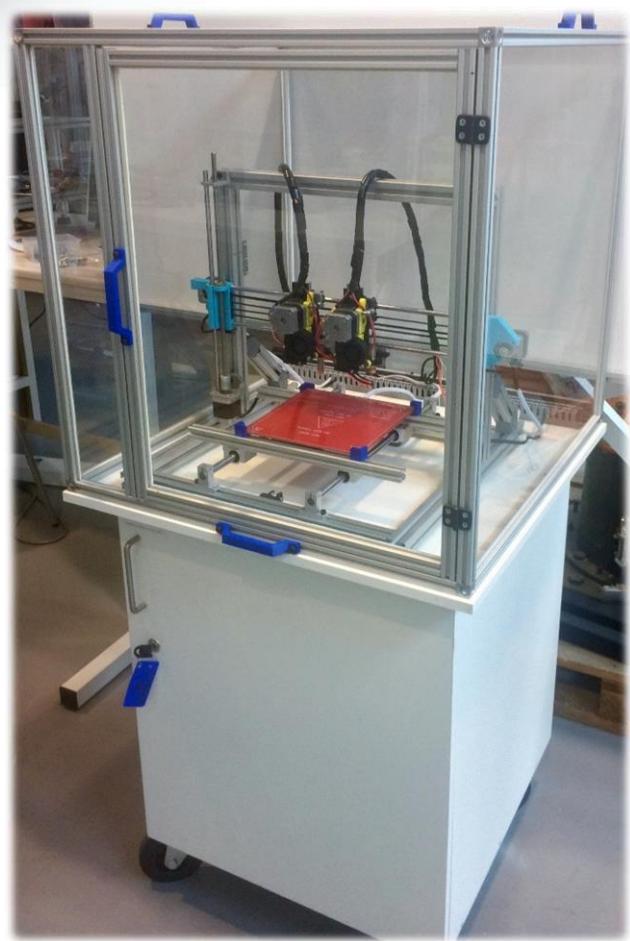
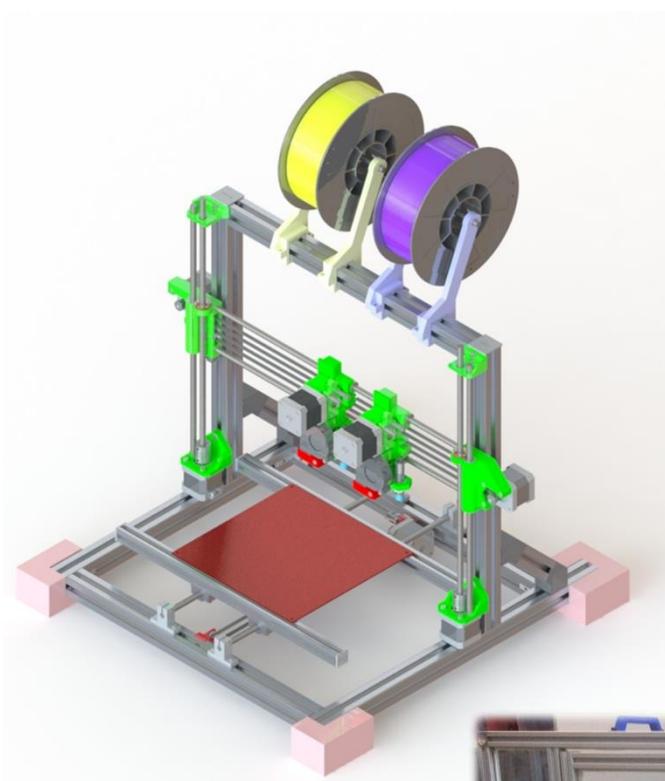
This Final Degree Project consists of the design of a 3D printing system by thermoplastic filament fusion (FDM) that is capable of exchanging or alternating between several materials automatically, by the use of a double extruder system with the objective of making hybrid printing, combining materials with different mechanical properties, or color, in one piece.

Having decided the design and the starting model (PRUS i3 MK2), all the components have been built and assembled by CAD software (Computer Aided Design) SOLIDWORKS. The design for the pieces is exported to STL extension, where CURA software divides the model into a machine code (Gcode) and the prototypes of the design be obtained by printing them with another 3D printer, and the material used is ABS.

Subsequently, with all the printable elements and the vitamins (non-printable elements), the assembly of the machine is executed in the workshop of the System Engineering and Automation Department at the School of Industrial Engineering of Malaga.

Furthermore, in the descriptive memory of this Final Degree Project, we have made a brief introduction to the existing technologies of 3D printing, the description of the assembly with some advice and warnings, the description of the mechanical and electronic components, as well as an estimated budget of the machine and an analysis of the most influential providers in this market.

Finally, we have cited the bibliography used for the development as well as the future development lines in both Final Degree Project and in the immense world of 3D printing, is one of the enabling technologies of Industry 4.0.





## INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1.    Objeto .....	12
1.2.    Antecedentes .....	12
1.3.    Objetivos .....	12
1.4.    Estructura del TFG .....	14
1.5.    Introducción a la impresión 3D .....	14
1.6.    Principio del funcionamiento.....	16
1.7.    Métodos de impresión 3D .....	18
1.8.1.    Sinterizado selectivo por láser (SLS).....	19
1.8.2.    Estereolitografía (SLA).....	19
1.8.3.    Deposición por plástico fundido (FDM).....	20
1.9.    Materiales de impresión .....	21
<b>CAPÍTULO 2: ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA .....</b>	<b>23</b>
2.1.    Introducción.....	23
2.2.    Descripción y diseño de la estructura.....	24
2.3.    Simulación de la estructura .....	28
2.4.    Diseño y construcción de la cámara caliente .....	29
2.5.    Conclusiones .....	30
<b>CAPÍTULO 3: SISTEMA DE POSICIONAMIENTO X, Y, Z .....</b>	<b>31</b>
3.1.    Introducción.....	31
3.2.    Montaje del eje X (Mono extrusor multmaterial).....	32
3.3.    Montaje del eje X (Doble extrusor multmaterial) .....	34
3.4.    Montaje del eje Z .....	39
3.5.    Montaje del eje Y .....	42
3.6.    Conclusiones .....	46
<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA MULTIFILAMENTOS .....</b>	<b>47</b>
4.1.    Introducción.....	47
4.2.    Fundamentos básicos de los sistemas multifilamentos .....	47
4.3.    Restricciones del sistema .....	50
4.4.    Conclusiones .....	50
<b>CAPÍTULO 5: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DOBLE EXTRUSOR ....</b>	<b>51</b>
5.1.    Introducción .....	51
5.2.    Tipos de extrusores (control de tracción) .....	51
5.2.1.    Extrusión de tracción indirecta (bowden) .....	51
5.2.2.    Extrusión de tracción directa .....	53
5.2.3.    Sistema mixto .....	54



<b>5.3. Componentes del extrusor.....</b>	<b>55</b>
5.3.1. Cuerpo del extrusor.....	55
5.3.2. Extremo caliente (Hotend).....	57
5.3.3. Soporte metálico disipador de calor (Heat sink).....	58
5.3.4. Ventilador de refrigeración del extrusor.....	58
5.3.5. Barrera térmica (Heat break).....	59
5.3.6. Bloque caliente (Hot block).....	59
5.3.7. Resistencia de cartucho .....	59
5.3.8. Termistor .....	59
5.3.9. Boquillas (Nozzle) .....	60
5.3.10. Ventilador de capa .....	61
5.3.11. Sensor inductivo de nivelación.....	62
<b>5.4. Sistema de abastecimiento del material (bowden) .....</b>	<b>64</b>
<b>5.5. Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO 6: SISTEMA ELECTRÓNICO.....</b>	<b>67</b>
6.1. Introducción.....	67
6.2. Partes fundamentales del sistema electrónico de control.....	67
6.2.1 Tarjeta controladora .....	68
• Arduino Mega.....	68
• Tarjeta Rumba V 1.1.....	70
6.2.2 Controladores de los motores paso a paso.....	73
6.2.3 Jumpers.....	76
6.2.4 Mosfet .....	76
6.2.5 Sistemas de posicionamiento (Nema 17) .....	78
6.2.6 Sistema del control de temperatura .....	80
• Resistencia de cartucho de calentamiento .....	80
• Cama caliente .....	80
• Termistores .....	80
6.2.7 Final de carrera .....	81
6.2.8 Fuente de alimentación e interruptor de control de potencia .....	81
6.2.9 Distribución de los componentes y conexiones.....	81
6.3. Conclusiones .....	82
<b>CAPÍTULO 7: SOFTWARE DE CONTROL.....</b>	<b>83</b>
7.1. Introducción.....	83
7.2. Interfaz de usuario (host y comunicaciones) .....	84
7.3. Cura.....	86
7.4. Programa de CAD (SolidWorks) .....	103
7.5. Conclusiones .....	103
<b>CAPITULO 8: PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>104</b>
8.1. Introducción.....	104
8.2. Ajustes previos calibración de drivers.....	104
8.3. Nivelación y calibración de la impresora .....	105
8.4. Conclusiones .....	107



<b>CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....</b>	<b>108</b>
9.1. Conclusiones y motivaciones del trabajo .....	108
9.2. Líneas futuras de desarrollo .....	109
<b>CAPÍTULO 10: PLIEGO DE CONDICIONES TECNICAS.....</b>	<b>111</b>
10.1. Introducción.....	111
10.2. Mantenimiento y consejos de uso .....	111
<b>CAPÍTULO 11: MEDICIONES Y PRESUPUESTO .....</b>	<b>113</b>
11.1. Introducción.....	113
11.2. Proveedores.....	113
11.3. Materiales y componentes .....	116
11.3.1. Mueble y cámara caliente .....	116
11.3.2. Estructura metálica .....	116
11.3.3. Ejes z .....	117
11.3.4. Eje x doble extrusor .....	117
11.3.1. Eje y .....	118
11.3.2. Extrusores .....	119
11.3.3. Filamentos.....	120
11.3.4. Electrónica y cableado.....	120
11.3.5. Herramientas y accesorios .....	121
11.3.6. Conclusiones.....	121
11.3.7. Componentes imprimibles .....	122
11.4. Mano de obra directo .....	123
11.5. Presupuesto general.....	123
11.6. Conclusiones .....	123
<b>CAPÍTULO 12: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA.....</b>	<b>124</b>
12.1. PLANO 01: ESTRUCTURA Y CHASIS .....	125
12.2. PLANOS 02-05: PIEZAS DEL EJE Z .....	126
12.3. PLANOS 06-09: PIEZAS DEL EJE X .....	130
12.4. PLANOS 10-12: PIEZAS DEL EJE Y .....	134
12.5. PLANOS 13-16: EXTRUSOR .....	137
12.6. PLANOS 17-18: SOPORTES FILAMENTOS .....	141
<b>CAPÍTULO 13: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>143</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Prototipos de casas impresas en 3D; Fuente: Impresorasen3d.....	15
Figura 2: Prototipos de impresión de órganos con células madres; Fuente: Impresorasen3d .....	15
Figura 3: Sinterizado selectivo por láser (SLS); Fuente: 3Dnatives.....	19
Figura 4: Estereolitografía (SLA); Fuente: 3Dnatives .....	19
Figura 5: Deposición de plástico fundido (FDM); Fuente: 3Dnatives .....	20
Figura 6: Imagen identificativa del material ABS.....	21
Figura 7: Ciclo de producción/descomposición del PLA.....	22
Figura 8: Prototipo de calzado fabricado con material flexible; Fuente: Imprimalia3d.....	22
Figura 9: Configuraciones robóticas comunes .....	23
Figura 10: Tabla de especificaciones técnicas del perfil ranurado 30x30-8mm.....	24
Figura 11: Conector angular interior del perfil ranurado; Fuente: Motedis.....	25
Figura 12: Escuadra angular exterior.....	25
Figura 13: Conector angular exterior .....	25
Figura 14: Ensamblaje estructura; Fuente: Elaboración propia con SW .....	26
Figura 15: Ensamblaje de la estructura con soportes; Fuente: Elaboración propia con SW .....	27
Figura 16: Análisis estático deformada del desplazamiento; Fuente: Elaboración propia con SW.....	28
Figura 17: Cámara caliente; Fuente: Laboratorio Tais Lab .....	29
Figura 18: Mueble y cámara caliente; Fuente: Laboratorio Tais Lab.....	29
Figura 19: Ensamblaje de estructura; Fuente: Elaboración propia con SW.....	30
Figura 20: Ensamblaje del eje x; Fuente: Manual de montaje .....	33
Figura 21: Planificación del vástago de los motores NEMA 17 .....	33
Figura 22: Soportes del eje x rediseñados para doble extrusor; Fuente: Elaboración propia con SW..	36
Figura 23: División del carro del eje x (original) ; Fuente: Elaboración propia con SW.....	37
Figura 24: Carruaje del eje x rediseñados para doble extrusor; Fuente: Elaboración propia con SW... ..	38
Figura 25: Ensamblaje del eje x con doble carro; Fuente: Elaboración propia con SW.....	38
Figura 26: Husillo y tuerca trapezoidal M8; Fuente: Motedis .....	40
Figura 27: Fijación de acopladores flexibles; Fuente: Tais Lab .....	40
Figura 28: Tuerca cabeza de martillo; Fuente: Motedis .....	41
Figura 29: Soporte superior en perfil ranurado; Fuente: Tais Lab.....	41
Figura 30: Fijación de la tuerca trapezoidal del husillo en los soportes del eje z; Fuente: Tais Lab .....	41
Figura 31: Guías lineales con soportes del eje y; Fuente: Motedis.....	43
Figura 32: Subestructura perfil 20x20 del eje y; Fuente: Tais Lab .....	44
Figura 33: Ensamblaje soporte motor eje y; Fuente: Elaboración propia con SW .....	44
Figura 34: Ensamblaje soporte polea eje y; Fuente: Elaboración propia con SW .....	45
Figura 35: Ensamblaje final del EJE Y; Fuente: Elaboración propia con SW .....	45
Figura 36: Ensamblaje estructura con los 3 ejes; Fuente: Elaboración propia con SW.....	46
Figura 37: Ensamblaje estructura con los 3 ejes doble carro; Fuente: Elaboración propia con SW.....	46
Figura 38: Impresora 3D con doble extrusor; Fuente: RepRap .....	48
Figura 39: Boquilla para varios hotend (DIAMONT); Fuente: Aliexpress .....	48
Figura 40: Adaptador de dos materiales; Fuente: Elaboración propia con SW.....	49
Figura 41: Problema de desalineación en extrusores con dos boquillas.....	50
Figura 42: Descripción del funcionamiento de extrusión BOWDEN.....	52
Figura 43: Descripción del funcionamiento de extrusión DIRECTA.....	53
Figura 44: Hotend 3D-V6 VOLCANO; Fuente: Elaboración propia con SW Render .....	57
Figura 45: Ventilador del extrusor (Acotación) .....	58
Figura 46: Ventilador del extrusor 12V .....	58
Figura 47: Imagen termo gráfica de la temperatura del hotend .....	59
Figura 48: Ensamblaje Hotend 3D-V6 Volcano.....	60
Figura 49: Kit de Volcano con diferentes boquillas.....	60
Figura 50: Ventilador de capa .....	61
Figura 51: Imagen comparativa de la impresión en PLA sin y con ventilador de capa .....	61
Figura 52: Sensor inductivo de nivelación; Fuente: Prusa.....	62
Figura 53: Ensamblaje extrusor con adaptador multifilamento; Fuente: Elaboración propia con SW....	63



Figura 54: Ensamblaje Bowden; Fuente: Elaboración propia con SW .....	64
Figura 55: Ensamblaje impresora multmaterial; Fuente: Elaboración propia con SW Render.....	65
Figura 56 : Ensamblaje impresora multmaterial doble extrusor; Fuente: Elaboración propia con SW .....	66
Figura 57 : Arduino Mega; Fuente: Arduino.....	68
Figura 58: Esquema de conexiones de Arduino Mega; Fuente: Arduino .....	69
Figura 59: Tarjeta controladora Rumba V1.1; Fuente: RepRap .....	70
Figura 60: Esquema de conexiones de Rumba V1.1; Fuente: RepRap.....	71
Figura 61: Diagrama de conexiones del Kit de impresora 3D; Fuente: RepRap.....	72
Figura 62: Pololu DRV8825; Fuente: Pololu.....	73
Figura 63: Diagrama electrónico Driver DRV8825; Fuente: Web Pololu.....	74
Figura 64: Potenciómetro en ambos controladores; Fuente: Web Pololu.....	75
Figura 65: Instalación Jumpers en la placa.....	76
Figura 66: Termistor .....	77
Figura 67: Motor Nema 17.....	78
Figura 68: Nema 17 Acotado .....	79
Figura 69: Esquema de excitación.....	79
Figura 70: Placa con montaje de la electrónica; Fuente: Tals Lab.....	82
Figura 71: Pantalla de descarga del Marlin de la comunidad GitHub.....	84
Figura 72: Ensamblaje LCD y Carcasa; Fuente: Elaboración propia SW .....	85
Figura 73: Ventana de entorno software Cura.....	86
Figura 74: Área de impresión Cura .....	87
Figura 75: Opciones de transformación de Cura .....	88
Figura 76: Multiplicar número de objetos Cura.....	88
Figura 77: Configuración básica cura .....	89
Figura 78: Configuración avanzada Cura.....	92
Figura 79: Preferencias Cura.....	95
Figura 80: Machine Setting Cura.....	96
Figura 81: Configuración avanzada de parámetros Cura.....	98
Figura 82: Menú impresión de Cura.....	102
Figura 83: Regulación manual de altura del eje x .....	106
Figura 84: Medición del cubo de calibración.....	107

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Descripción del proceso de exportación a impresión 3D .....	17
Tabla 2: Clasificación de las diferentes tecnologías de impresión 3D .....	18
Tabla 3: Listado de materiales de la estructura .....	26
Tabla 4: Listado de materiales del EJE X (Mono extrusor multmaterial).....	32
Tabla 5: Listado de materiales del EJE X (Doble extrusor multmaterial) .....	34
Tabla 6: Listado de materiales del EJE Z .....	39
Tabla 7: Listado de materiales del EJE Y .....	42
Tabla 8: Listados de piezas impresas del cuerpo del extrusor .....	56
Tabla 9: Especificaciones técnicas del ventilador del extrusor .....	58
Tabla 10: Especificaciones técnicas del ventilador de capa .....	61
Tabla 11: Comparativa de controladoras para impresión 3D.....	67
Tabla 12: Características técnicas del Motor Nema 17 .....	78



# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Grado en Ingeniería Mecánica

D. CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA 74936437-E



## 1.1. Objeto

El objetivo del presente Trabajo Fin de Grado (en adelante TFG) es el servir como trabajo final de estudios, donde el alumno demostrará sus conocimientos y habilidades adquiridas durante su etapa académica, siendo capaz de analizar, sintetizar y resolver los problemas planteados, así como exponer soluciones y líneas futuras del presente proyecto técnico. Además, el TFG debe utilizarse como motivación y ampliación de conocimientos en diversos campos que alberga el presente TFG. En este caso profundizaremos en la robótica e impresoras 3D, al mismo tiempo el modelado y puesta en marcha mediante las herramientas y software existentes para tal fin.

## 1.2. Antecedentes

En este TFG surge de la necesidad del diseño y construcción de una impresora 3D o máquina de prototipado rápido capaz de imprimir varios materiales. La idea primaria era el diseño de un cabezal para dos extrusores, pero se estudió que no era viable como se abordará en el Capítulo 4: Diseño y construcción del doble extrusor.

En la actualidad existe diversidad de documentos que permiten construir y poner en marcha las impresoras 3D, que se encuentran en continuo cambio de mejora.

De este modo es interesante tanto para la Escuela de Ingenierías de la Universidad de Málaga, como para el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Con ello se pretende acercar esta nueva tecnología a un número mayor de usuarios, ya que la impresora será montada en el laboratorio de dicho departamento.

## 1.3. Objetivos

El objetivo principal de este TFG es lograr un sistema de extrusores. Para ello se ha utilizado como referencia el manual de una impresora comercial de la marca Prusa, modelo i3 MK2, ya que se trata de un modelo que su propio fabricante publica todos sus diseños en OPEN SOURCE con el objetivo de enriquecer el conocimiento público , en la web del fabricante [1].

Se busca superar los obstáculos que se puedan presentar en el montaje y mejorar dentro de lo posible las piezas de la propia impresora. También se quiere instruir al lector para que sirva de guía de diseño y construcción de una impresora 3D. Además se podrá encontrar multitud de consejos, ensayos, posibles errores y como solucionarlos.



Para cumplir dicho objetivo se requiere de fases que se detallan a continuación:

**1. Diseño y construcción del sistema de extrusión que cumpla las solicitudes mecánicas y de temperatura, con el fin de obtener una impresión de dos materiales.**

Se diseñará, remodelará y construirá un sistema de extrusión que sea capaz de entrar varios filamentos y alimentar el extrusor con el material deseado.

Para el diseño, importación y exportación de archivos nos hemos apoyado en diversas herramientas de Software como SolidWorks, Sketchup y Blender, además de Cura para exportar el GCODE imprimible en otra impresora.

**2. Planificación e implantación del sistema electrónico de control**

Se llevará a cabo la planificación e implantación del sistema electrónico de control que realizará tareas de alimentación del material deseado al sistema de extrusión, controlaremos la temperatura e interacción con el usuario, mediante un software de control implantado para tal caso.

**3. Desarrollo del software de control del sistema de alimentación de material y temperatura del extrusor.**

Se realizará un software que junto al sistema electrónico de control realice las tareas de la alimentación del material, control de la temperatura e interacción con el usuario.

**4. Construcción, montaje y puesta en marcha de la impresora 3D.**

Para ello tendremos a disposición todas las herramientas, materiales e instrumentos en el laboratorio y taller 0.27 del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Telerobotic and Interactive Systems (TalS lab)[2]. Además tenemos a disposición el manual de montaje del modelo de impresora 3D.

Para terminar, como proyecto personal estoy interesado en llevar mucho más lejos la impresora que voy a construir en este TFG. No solo para mejorarla, sino para en un futuro seguir optimizándola, seguir aprendiendo sobre la máquina, sobre la extrusión de plásticos y su comportamiento.



## 1.4. Estructura del TFG

El contenido de este TFG, se divide en trece capítulos siguiendo la estructura planificada que a continuación se describe, siendo paralela al manual o guía de montaje. Exceptuando este primer capítulo introductorio y el dedicado a conclusiones y líneas de desarrollo futuras, los restantes se inician en una introducción y finalizan con las conclusiones que destacan los aspectos más importantes en cada caso.

Primeramente, en el capítulo 2 se ha diseñado y construido la estructura donde se montará todos los componentes necesarios, paralelamente se ha diseñado y construido una cámara caliente donde se depositará la impresora con el fin de obtener mejores resultados.

A continuación, en el capítulo 3 montamos los 3 ejes por donde se moverá la impresión.

En el capítulo 4 y 5 nos hemos centrado en el diseño y modelado del extrusor multifilamentos, que a su vez se montó y ensambló a la impresora.

Posteriormente en el capítulo 6 se ha implantado el sistema electrónico de la impresora, que con esto quedaría totalmente construida.

En los próximos capítulos 7 y 8 se ha desarrollado el software de control y puesta en marcha con sus respectivas pruebas.

Finalmente en los próximos capítulos se ha obtenido las conclusiones oportunas y se han propuesto las líneas de desarrollo futuras, así como el pliego de condiciones técnicas, referencias, planos y presupuesto.

La metodología y estructura seguida en la elaboración de este TFG se corresponde con el orden real que se ha desarrollado en este proyecto, siendo necesaria la ejecución de cada parte para poder continuar con la siguiente.

## 1.5. Introducción a la impresión 3D

La impresión 3D se remonta a 1984 cuando Chuck Hull (Co-fundador de 3D Systems) patentó la primera máquina capaz de generar prototipos mediante Estereolitografía. [3]

La impresión 3D o máquina de prototipado es una máquina capaz de producir objetos y piezas tridimensionales de distintos materiales. Su calidad principal es que, en lugar de retirar material de un bloque (CNC) o emplear un molde, fabrica piezas aportando directamente material superponiendo capas al modelo final. Estas reciben información de los archivos CAD (Diseño asistido por ordenador) que previamente fueron creados o escaneados en 3D.

Esto aporta una mayor flexibilidad a la hora de poder fabricar geometrías complejas y abarata los costes indirectos relacionados con moldes, herramientas y material sobrante.

Las impresoras 3D son usadas hoy día para la creación de prototipos y matrizería o prefabricación de piezas en sectores del diseño industrial. Son muy apropiadas para la creación de prótesis médicas, pues permiten adaptarlas a las características particulares de cada paciente con facilidad.

Este tipo de tecnología 3D está adquiriendo cada vez más importancia en la creación de objetos. Se cree que en un futuro puede marcar un antes y un después en la industria de fabricación, e incluso que se perderá más del 20% de los puestos de trabajo[4]. Con vistas a un futuro están creando impresoras capaces de imprimir casas, con el fin de construir en la luna. También es muy importante destacar el avance en la impresión de órganos. En los últimos años ha habido un auge en la venta de dispositivos de impresión 3D debido a la bajada del precio.



Figura 1: Prototipos de casas impresas en 3D; Fuente: Impresorasen3d

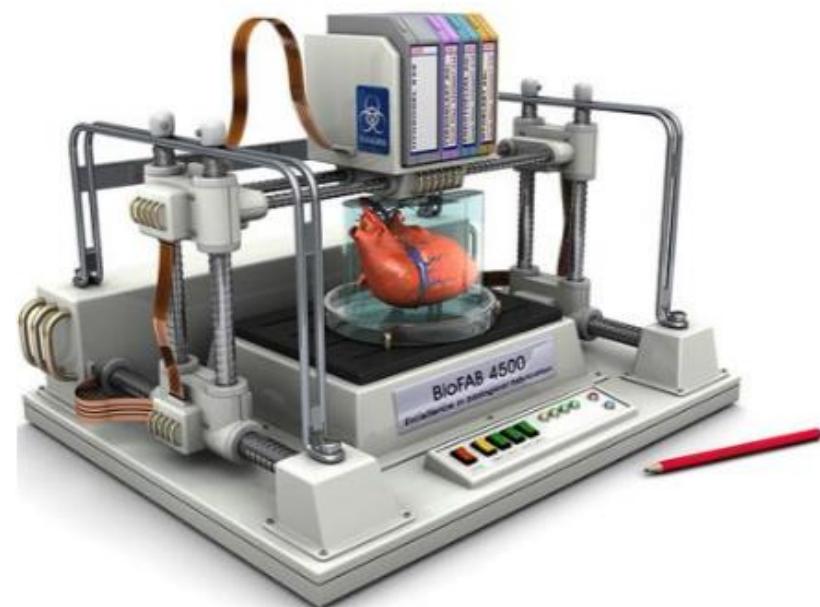


Figura 2: Prototipos de impresión de órganos con células madres; Fuente: Impresorasen3d

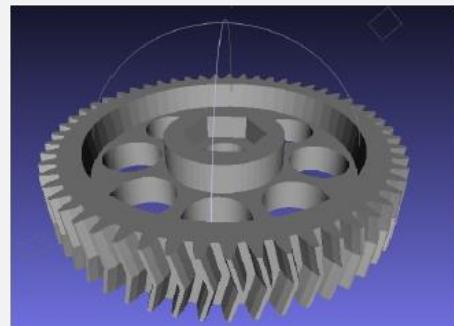
## 1.6. Principio del funcionamiento

A continuación se detalla el proceso de prototipado de una pieza, desde la fase del diseño en CAD hasta la fabricación de la pieza.

### DESCRIPCIÓN

**Paso 1:** Partiendo de un pieza ya construida la cual podemos tomar sus cotas o bien con un escáner 3D, se elabora el modelo de CAD que represente a la pieza. Para ello podemos usar infinitos programas de los que destacaremos: SolidWorks, AutoCAD, Sketchup, Blender, Freecad.

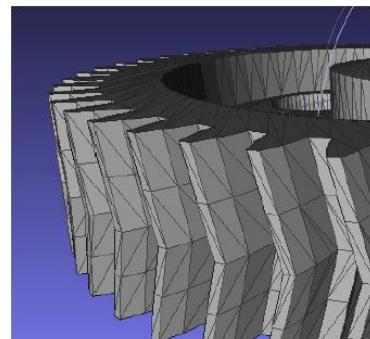
### MODELO



**Paso 2:** El modelo se exporta a un tipo de formato estandarizado para que pueda seguir el siguiente paso del proceso.

Este tipo de formato suele ser .STL.

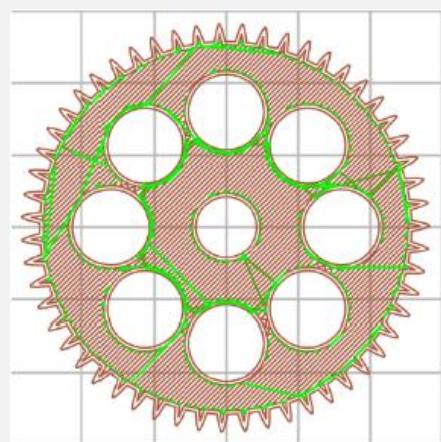
Se trata de una representación del modelo mediante una cierta densidad de triángulos.



**Paso 3:** Mediante un programa denominado slicer (trocea la información del modelo y lo separa mediante capas planas para que pueda ser traducidas en movimientos del plano XY). La geometría del modelo se traduce en movimientos del cabezal o del láser dependiendo de la tecnología que se vaya a usar.

Estos movimientos se almacenan en un archivo en código G o GCode.

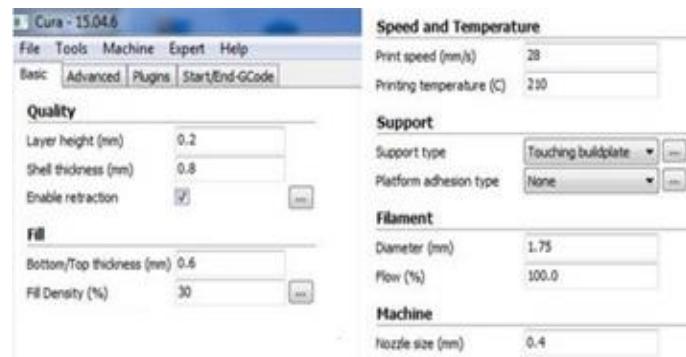
Para ello utilizaremos un software llamado CURA, también existen otros como SLIC3R, KISSlicer, CuraEngine y Simplify3D.





**Paso 4:** En el software ajustaremos la configuración de los parámetros del laminado, como por ejemplo:

Altura de capa, grosor del borde, relleno, velocidad de impresión, temperatura.



**Paso 5:** El GCode es enviado a la impresora, y comenzara a reproducirse el prototipo.

Los parámetros básicos de impresión se pueden controlar mediante la pantalla LCD que lleva instalada la impresora.



Tabla 1: Descripción del proceso de exportación a impresión 3D



## 1.7. Métodos de impresión 3D

Existen en la actualidad diversos tipos de tecnologías que se basan en la fabricación por adición. Esto es, mediante capas de materiales superpuestas sucesivamente. A continuación se expone una tabla donde se recogen las principales tecnologías y materiales que usan cada una de ellas.[5]

TIPO	TECNOLOGIAS	SIGLAS	MATERIALES
Extrusión	Modelado por deposición fundida	FDM	- Termoplásticos - Aleaciones eutéticas de metales - Productos comestibles
Granular	Sinterizado láser directo de metal	LMD	- La mayoría de aleaciones de metal
	Sinterizado selectiva por calor	SHS	- Termoplásticos en polvo
	Sinterizado selectiva por láser	SLS	- Termoplásticos - Metales en polvo - Polvos cerámicos
	Fusión por haz de electrones	EBM	- Aleaciones de titanio
	Fusión selectiva por láser	SLM	- Metales
Hilado	Proyección de aglutinante	DSPC	- Yeso
Hilado	Fabricación por haz de electrones	EBF3	- La mayoría de aleaciones de metal
Laminado	Laminado de capas	LOM	- Papel - Hoja metálica - Película de plástico
Foto-polimerizado	Estereolitografía	SLA	- Fotopolímeros
	Fotopolimerización por luz ultravioleta	SGC	- Fotopolímeros
	Procesamiento digital de luz	DPL	- Resina liquida

Tabla 2: Clasificación de las diferentes tecnologías de impresión 3D

De estas tecnologías de fabricación aditiva utilizadas para la impresión 3D, la técnica más usada para aquellas piezas que requieren cierta precisión es la estereolitografía, mientras que si se requiere un prototipo funcional donde se valoren las prestaciones mecánicas se usa el sinterizado, debido a la variedad más amplia de materiales.

A continuación se detallará la tecnología de SLS, Estereolitografía y deposición por plástico fundido en la que detallaremos con mayor calidad, debido a que es el tipo de tecnología usado para nuestro proyecto de impresora 3D.

### 1.8.1. Sinterizado selectivo por láser (SLS)

Este método consiste en la colocación de una fina capa de material en polvo en un recipiente a temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material. Con un láser se sinteriza el material solidificando una rebanada que junto a otra capa se va formando el prototipo deseado. El polvo solidificado actúa de material de soporte y puede ser reciclado para posteriores trabajos.

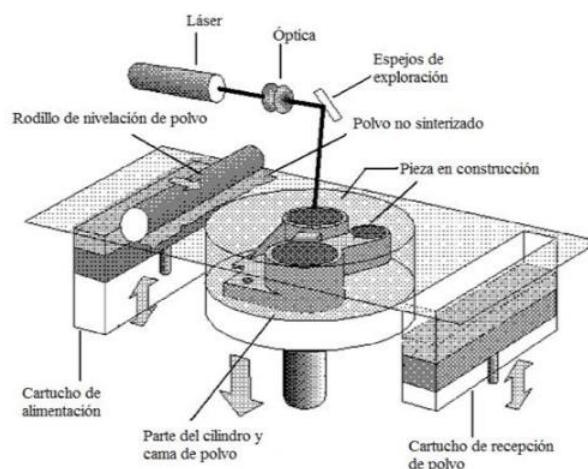


Figura 3: Sinterizado selectivo por láser (SLS); Fuente: 3Dnatives

### 1.8.2. Estereolitografía (SLA)

Este método consiste en la curación y solidificación de un material fotopolímero en estado líquido. Para ello se emplea un láser a la longitud de onda necesaria para que el material solidifique.

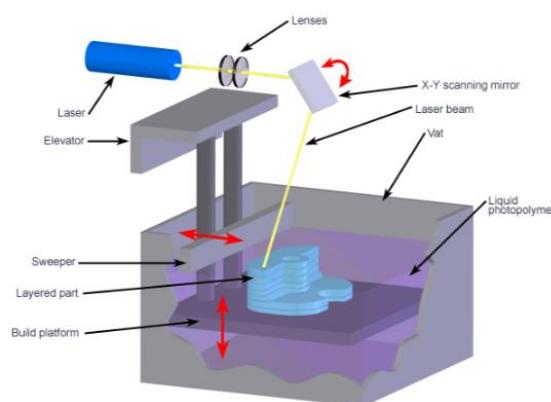


Figura 4: Estereolitografía (SLA); Fuente: 3Dnatives

### 1.8.3. Deposición por plástico fundido (FDM)

La deposición por plástico fundido se remonta a 1992, esta tecnología consiste en depositar capas de plástico fundido sobre otras capas e ir construyendo el prototipo 3D. El plástico a fundir, el cual describiremos más adelante parte de una bobina, y pasa por el extrusor con ayuda de la tracción del motor y sistema de presión con polea que atraviesa el hot-end (cuerpo metálico a temperatura de fundición) y es extruido por la boquilla. La ubicación de la boquilla depende de las coordenadas que ofrece cada motor, uno para cada eje.

Debido a la imposibilidad de depositar material en voladizo, se usa un material de soporte soluble o fácil de separar.

En nuestro proyecto vamos a realizar una impresora de FDM, que en la actualidad existen tres grupos de modelos dentro de esta tecnología:

- Impresoras personales o domésticas
- Impresoras de calidad media
- Impresoras profesionales o de altas prestaciones

En la actualidad cada grupo ocupa un tercio del mercado actual, y las diferencias principales son la calidad de impresión, prestaciones, precios y accesibilidad.

Nuestro proyecto consiste en la réplica de una impresora 3D de FDM de uso doméstico o personal adaptando el extrusor multifilamento.

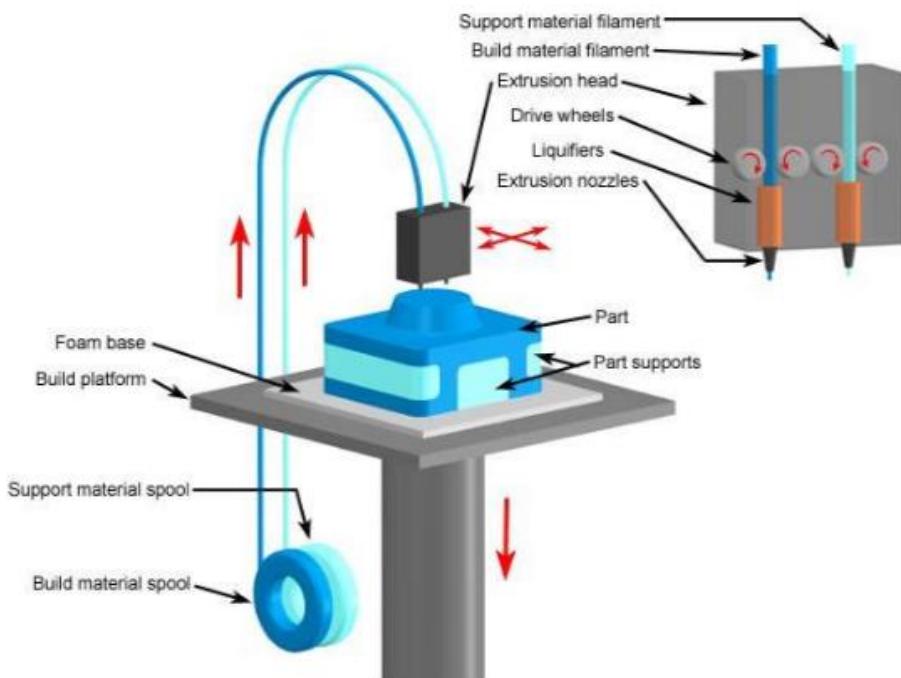


Figura 5: Deposición de plástico fundido (FDM); Fuente: 3Dnatives

## 1.9. Materiales de impresión

En la actualidad existen diversidad de materiales de impresión, en nuestro proyecto nos centraremos en los materiales más usados para la tecnología FDM, como pueden ser:

ABS, PLA, Materiales Flexibles e incluso ya se está imprimiendo metales, hormigón, comida y células madres para fabricar órganos o tejidos. Además existen nuevos con base, generalmente de PLA, a los que se le añaden polvo de madera, metal, etc. con el fin de obtener texturas o propiedades especiales.

Aunque el mercado del filamento está en continuo desarrollo y surgen materiales nuevos, nos vamos a centrar en tres de los termoplásticos.

Una de las mayores ventajas que proporcionan estos tipos de materiales que son totalmente reciclables, e incluso algunos como el PLA son biodegradable.

Los filamentos se distribuyen en bobinas las cuales existen de varios grosos, siendo los más usados 3mm y 1,75mm para nuestro caso.

- **ABS (ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO):** Como su nombre indica, se trata de un termoplástico compuesto por los tres componentes citados anteriormente que cada uno aporta características distintas.

Se trata de un material muy resistente a golpes, es uno de los más usados en ingeniería. No es biodegradable, pero es muy tenaz, duro y rígido, con resistencia química y la abrasión, pero que sufre con la exposición a rayos UV. Es soluble en acetona, se puede pulir, limar, lijear, agujerear, pintar, en definitiva someterse a procesos industriales, su densidad es de 1,05 g/cm<sup>3</sup>. Requiere una temperatura de cabezal de unos 240°C y de bandeja o cama de 110°C.

### Identificación del ABS:

Las partes que están fabricadas del material ABS deben estar marcadas de acuerdo con la norma ISO 11469 (DIN 58840):

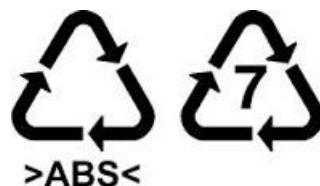


Figura 6: Imagen identificativa del material ABS

Como ejemplos de usos podemos encontrar piezas de automóviles, electrodomésticos, maletas rígidas o incluso las piezas de juguetes de LEGO.

- **PLA (ÁCIDO POLILÁCTICO):** También unos de los materiales más usados, curiosamente es creado a partir de recursos naturales (raíces de tapioca, caña de azúcar y almidón de maíz). Su principal virtud, evidentemente, es que se trata de un material compuesto biodegradable. La textura de las piezas no queda tan suave como con el ABS, pero sí más brillantes y las esquinas salen mejor. Su densidad es de entre 1,2 y 1,4 g/cm<sup>3</sup>. La temperatura necesaria para su impresión es de unos 210°C con la cama a unos 60°C. En ambos casos podemos encontrar, tanto en PLA como en ABS, todo tipo de colores, que van desde el crudo natural, hasta dorados y plateados. Pero además también existen variedades de estos materiales con propiedades especiales. Tenemos por ejemplo colores fosforescentes, que brillan en la oscuridad, o fluorescentes, que brillan al exponerlos a luz UV. También materiales que cambian de color según la temperatura y hasta variedades flexibles o que conducen la electricidad.

Al tratarse de un material compuesto por materias naturales, tiene aplicaciones muy interesante como la fabricación de envases de comida aptas para el consumo humano.

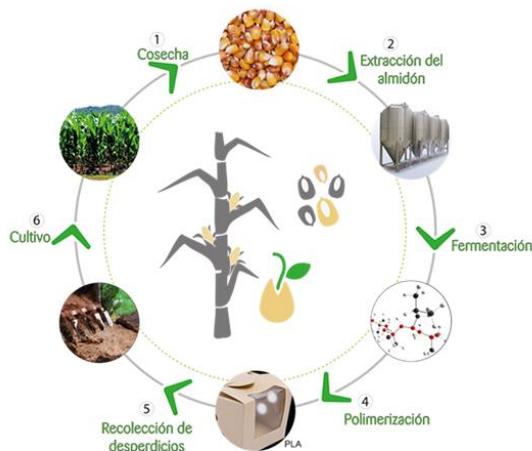


Figura 7: Ciclo de producción/descomposición del PLA

- **FILAFLEX (elastómero termoplástico TPE con base de poliuretano):** Es un elastómero desarrollado en España con una capacidad de estiramiento antes de romperse de un 700% respecto al tamaño original. Esa propiedad lo hace idóneo para fabricar topes, junturas, plantillas de calzado, zapatillas, ruedas neumáticas, pulseras de relojes y, en definitiva, todo lo que pueda precisar doblarse mucho sin romperse. No precisa de cama caliente y se puede combinar con ABS o PLA y conseguir impresiones hibridas.



Figura 8: Prototipo de calzado fabricado con material flexible; Fuente: Imprimalia3d

# CAPÍTULO 2: ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA

## 2.1. Introducción

El conjunto estructural de una impresora 3D es el chasis donde se ensamblaran todos los componentes necesarios y además aportará rigidez al sistema reduciendo vibraciones, por ello se considera una parte muy importante para poder conseguir buenos resultados en la impresión.

Éste se puede construir en elementos estructurales a lo largo de los ejes de movimiento o paneles que encierran la máquina. Además de ver si nuestro chasis será abierto o cerrado, tendremos en cuenta el tipo de coordenadas a utilizar. Las principales configuraciones robóticas que se puede encontrar es cartesianas, cilíndricas, esféricas, angular y scara.[6].

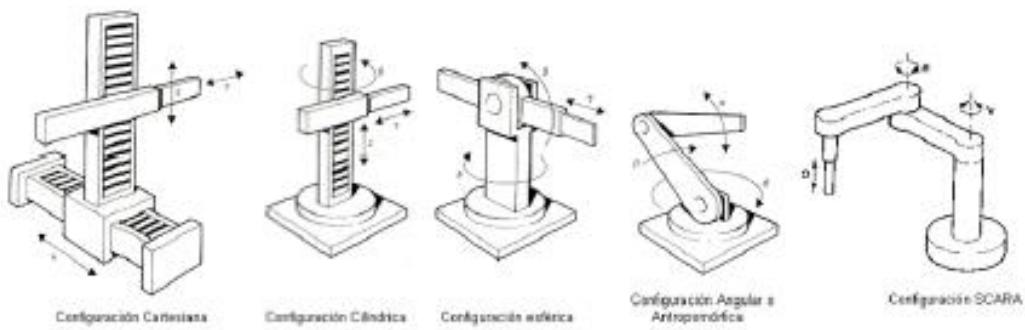


Figura 9: Configuraciones robóticas comunes

Teniendo en cuenta los criterios de selección, las configuraciones que presentan más ventajas son las cartesianas y polar. Sin embargo la única que no dificulta el diseño del software y firmware es la cartesiana.

Existen varios sistemas de construcción de la estructura, sobre todo el material en el que se construirá. Los más usuales puede ser madera, placas de acero de 3mm de espesor, metraquilato o perfilaría de aluminio.

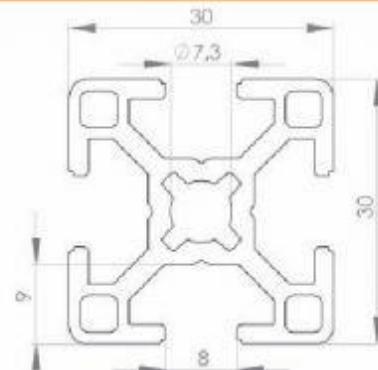
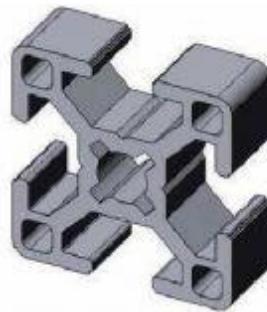
La madera y metacrilato tiene el inconveniente que se deforman ligeramente con el tiempo, lo que dificulta la calibración de la máquina y consecuentemente malas precisiones dimensionales de las piezas.

## 2.2. Descripción y diseño de la estructura

Una vez decidida la configuración cartesiana, la estructura se va a realizar con perfilaría comercial en aluminio, ya que es más ligero, económico y existen diversidad de perfiles. El perfil elegido debe ser un perfil de fácil montaje y de integrar el resto de componentes. El perfil seleccionado es un perfil de aluminio ranurado de 30x30 – 8 mm.

Sus especificaciones técnicas principales se resumen en la imagen 10 que nos proporciona el fabricante[7]. Como se verá en los resultados de simulación, este perfil cumple con los requisitos mínimos de rigidez exigidos en el proyecto.

### Profile 30x30 B-Type slot 8



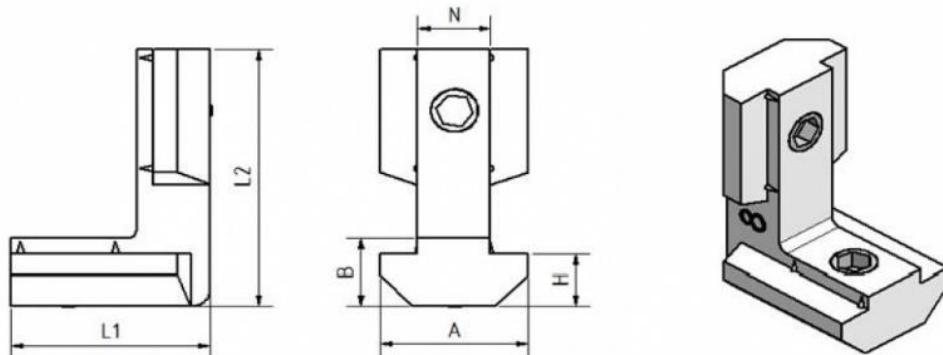
Profile 30x30 B-Type slot 8

Slot	8	mm
Mass	m	0,80 Kg/m
Moment of Inertia	I <sub>x</sub>	2,70 cm <sup>4</sup>
	I <sub>y</sub>	2,70 cm <sup>4</sup>
Section modulus	W <sub>x</sub>	1,80 cm <sup>3</sup>
	W <sub>y</sub>	1,80 cm <sup>3</sup>
Surface	A	2,90 cm <sup>2</sup>

Figura 10: Tabla de especificaciones técnicas del perfil ranurado 30x30-8mm

La unión de estos perfiles es mediante abrazaderas y escuadras del mismo material existentes en el mercado, también se usarán embellecedores que mejoraran la estética y evitar posibles daños a usuarios.

### Conectores internos entre perfiles ranurados y escuadras exteriores



N [mm]	A [mm]	B [mm]	H [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	Hexagon socket set screw	weight [g]
6	11,3	4,5	3	21	21	M5	8
8	15,8	7,8	6	21	30	M6	24
10	19	8,8	3,8	32	38	M8	45

Figura 11: Conector angular interior del perfil ranurado; Fuente: Motedis

### Conectores exteriores del perfil



Figura 12: Escuadra angular exterior



Figura 13: Conector angular exterior

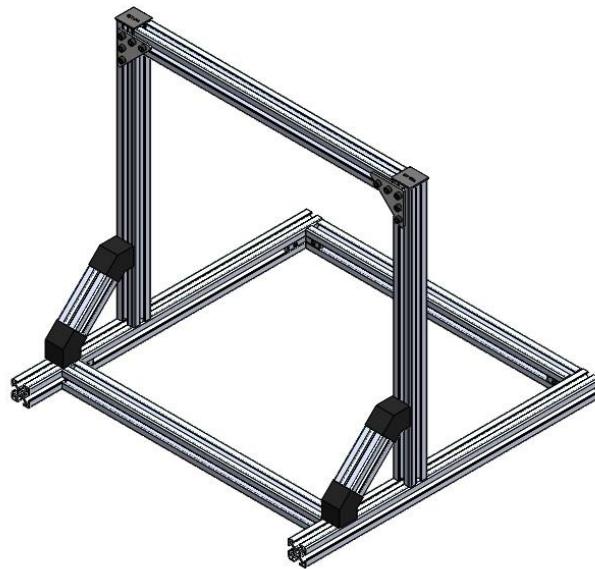


Figura 14: Ensamblaje estructura; Fuente: Elaboración propia con SW

A continuación se adjunta la documentación gráfica correspondiente a la estructura, donde podemos encontrar el plano de acotado de la estructura con sus tres vistas principales, además del listado del despiece correspondiente.

NOMBRE	UDS	DESCRIPCIÓN
Perfil ranurado	5	30 x 30- 8 mm – 440 mm
Perfil ranurado	2	30 x 30- 8 mm – 500 mm
Perfil ranurado	2	30 x 30- 8 mm – 100 mm
Conejero interior de ranura	8	30 x 30- 90° + tornillos prisioneros
Escuadra exterior	2	Escuadra metálica con orificios
Adaptador angular perfil ranurado	2	Adaptador angular conector de perfil
Tuerca cabeza martillo M4	10	Tuerca para perfil ranurado de 8 mm
Tornillo M4 x 10mm	10	ISO 4762 (Cabeza hexagonal hueca)
Embellecedor perfil 30x30	2	Tapa del perfil 30 x 30

Tabla 3: Listado de materiales de la estructura

La fijación de la estructura de nuestra impresora a la base de la cámara caliente la realizaremos mediante unas piezas modeladas e impresas en material flexible (FILAFLEX) con el fin de absorber las pequeñas vibraciones que pueda ocasionar el sistema.

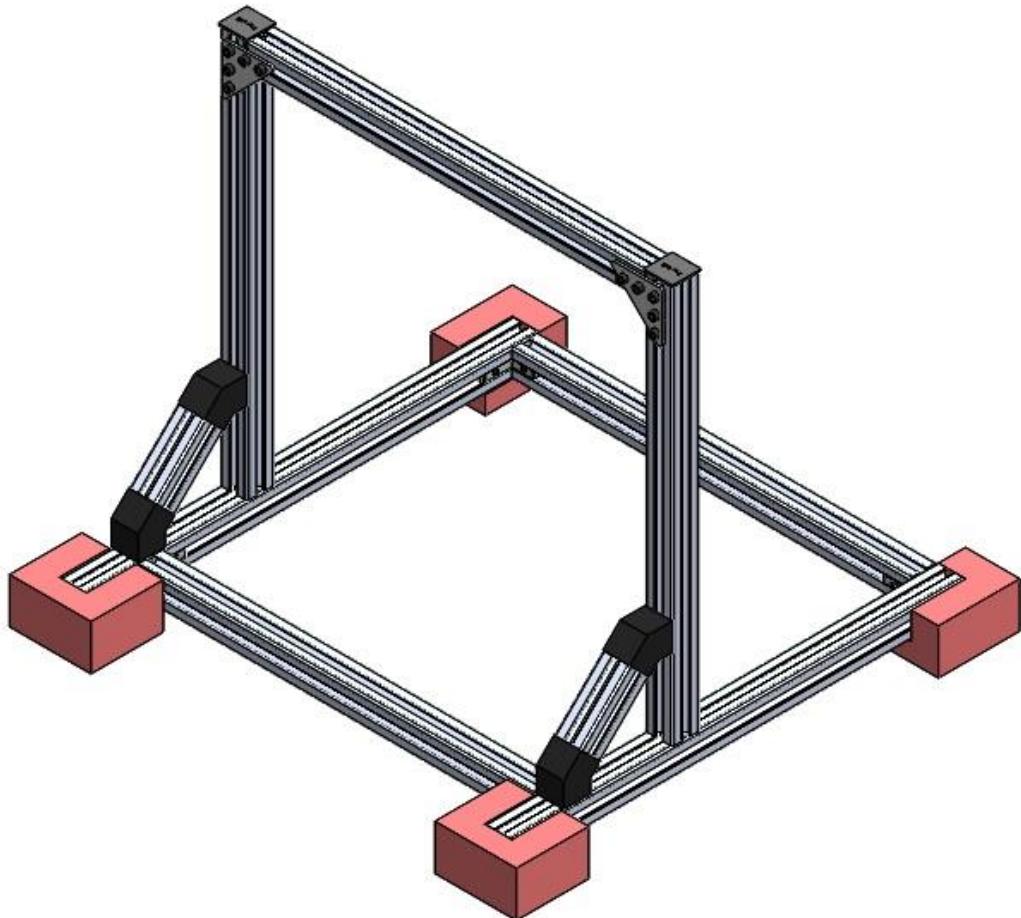


Figura 15: Ensamblaje de la estructura con soportes; Fuente: Elaboración propia con SW

Una vez determinados los elementos a emplear el diseño en el que se va basar, lo realizaremos con un modelo CAD. Dicha maqueta va a servir para verificar las dimensiones, evaluar los materiales y simular su funcionamiento que garantizara que no existen fallos.

En el capítulo correspondiente a la documentación gráfica, se adjunta el plano acotado con sus vistas principales que facilitan la comprensión del ensamblaje.

## 2.3. Simulación de la estructura

Para verificar que la estructura diseñada es adecuada para la aplicación que tendrá, se ha diseñado un modelo de simulación con las especificaciones:

- Debido a la geometría de las guías resulta demasiado compleja, luego se ha simplificado eliminando los motores y husillos.
- Se ha establecido como geometría fija todas las piezas de la base de la estructura que se encuentra en contacto directo con el suelo de la cámara caliente.
- Las fuerzas que se van ejercer durante la simulación van a ser la gravedad y fuerzas equivalentes sobre el eje Y. Estas van a suponer una frenada brusca de 150 a 0 mm/s en un único paso del motor.
- Para determinar la fuerza equivalente, tenemos que conocer la aceleración máxima, especificada por el fabricante de 50 m/s<sup>2</sup> y una masa por guía de 1,1 Kg, obteniendo una fuerza de 55N en el eje Y.
- Mayorando desde el lado de la seguridad la masa del extrusor a 0,5 Kg y sumándole el eje X, que posee 0,25 Kg.

$$\rightarrow 50 \cdot 0.75 = 37,5 \text{ N}$$

Aplicando dichas restricciones y variables de los resultados, la deformación relativa máxima es de 21  $\mu\text{m}$  aproximadamente, en la parte central de la viga de la estructura, lo cual un valor aceptable.

CRISTOBAL RAMIREZ AYALA  
Nombre del modelo: ESTRUCTURA ENSAMBLAJE  
Nombre de estudio: Análisis estático [-Predeterminado-]  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos 1  
Escala de deformación: 2819.93

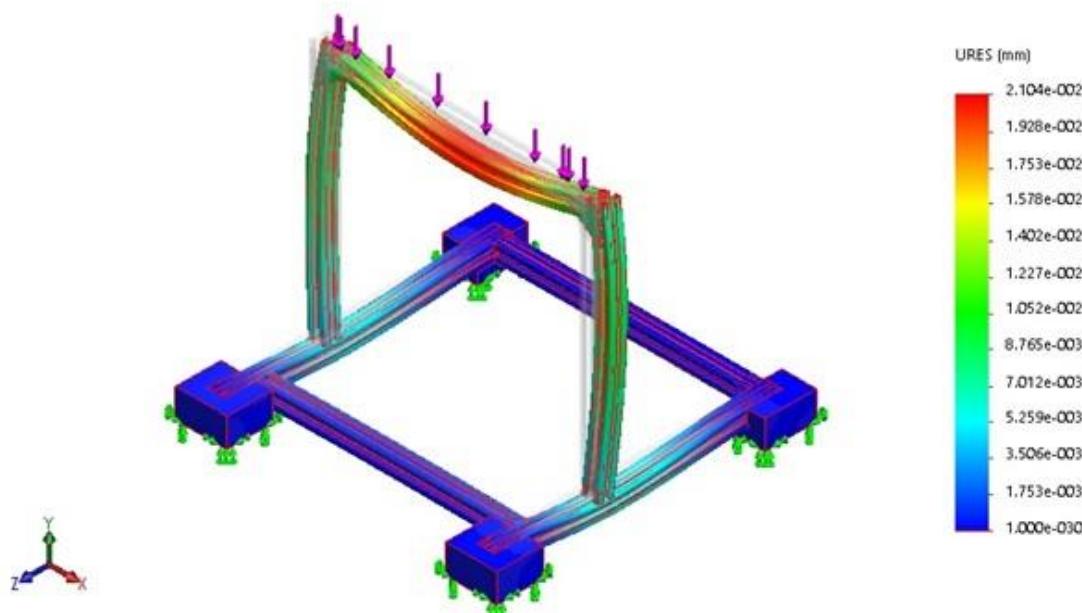


Figura 16: Análisis estático deformada del desplazamiento; Fuente: Elaboración propia con SW

## 2.4. Diseño y construcción de la cámara caliente

Con la idea de mantener un ambiente idóneo y no ser afectado por corrientes de aire para la impresión, partículas de polvo y evitar el “warping” [8], se decidió construir un habitáculo cuadrado donde se alojara la impresora 3D, además se alojaran todos los útiles y herramientas necesarias para la impresión 3D.

Ha dicho habitáculo lo nombraremos como cámara caliente, está formada por una base estructural formado por un mueble con cajón de madera aglomerado blanco de dimensiones 600 mm de largo x 600 mm de ancho y 700 mm de alto, que usaremos como almacén de los diferentes componentes de impresión 3D.

El mueble está en contacto con el suelo mediante unas ruedas industriales de nailon de unos 125 mm de diámetro aproximadamente, que sustenta y facilita el desplazamiento del conjunto. Las ruedas tienen un aguante de 200 Kg aprox. En la parte posterior del mueble se alojará una placa de aluminio donde se recoge la electrónica, se especifica con más detalles en el capítulo 6: Sistema electrónico.

Respecto a la construcción del habitáculo o urna se ha realizado con perfiles de aluminio ranurado al igual que la estructura descrita anteriormente, este perfil es de 20x20 – 5 mm y su cerramiento se realiza mediante planchas de policarbonato compacto de 3 mm de espesor. Las dimensiones del habitáculo son de 700x700x700 mm, con acceso frontal mediante una puerta de 500 x 660 mm. Se ha dotado de un sistema basculante con bisagras y amortiguadores neumáticos que facilitan el manejo de la parte superior de la impresora.

Se debe tener especial cuidado a la hora de imprimir, sobretodo ABS ya que producen unos vapores nocivos y al estar encerrado en el habitáculo al abrir la puerta desprenderá un fuerte olor.

La medición y control de la temperatura ambiente en el interior de la cámara será objeto de otro TFG.

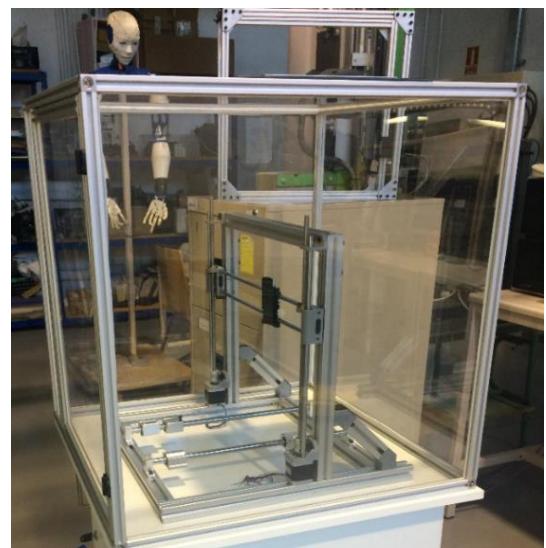
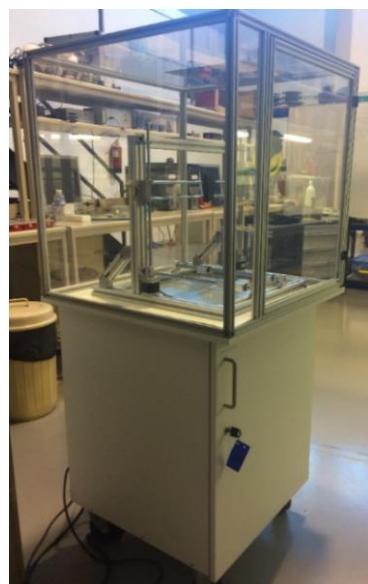


Figura 17: Cámara caliente; Fuente: Laboratorio Tais Lab

Figura 18: Mueble y cámara caliente; Fuente: Laboratorio Tais Lab



## 2.5. Conclusiones

Como conclusión destacamos la construcción de las estructuras tanto de la impresora 3D como de la cámara caliente se han realizado con el tipo de perfil ranurado de aluminio por su flexibilidad de distribución en el mercado, versatilidad de montajes y rigidez necesaria para tal fin.

La simulación del estudio de la estructura es superada con creces respecto a lo exigido.

La construcción de una base de anclaje con su almacén y ruedas aporta un montaje sólido del sistema, además de que la impresora trabaje en ambiente ideal, ya que se puede ver afectada por las corrientes de aires existentes en la zona de trabajo.

Con apoyo del estudio, control y regulación de la temperatura de la cámara se espera poder obtener resultados de impresión muy gratificantes.

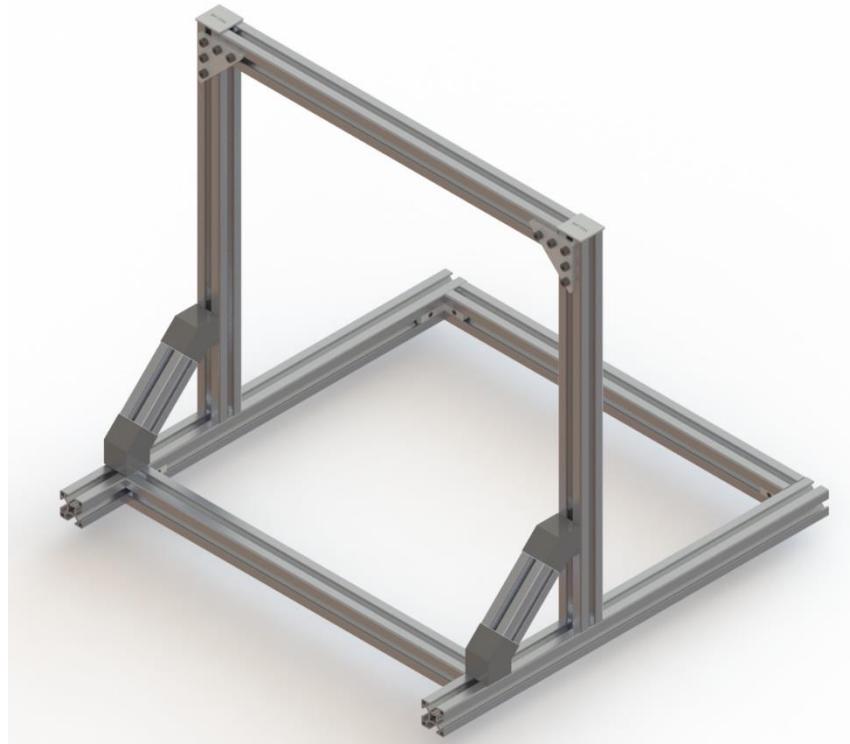


Figura 19: Ensamblaje de estructura; Fuente: Elaboración propia con SW



# CAPÍTULO 3: SISTEMA DE POSICIONAMIENTO X, Y, Z.

## 3.1. Introducción

Uno de los elementos más determinantes (junto con el extrusor) a la hora de obtener piezas prototipadas con buen acabado y velocidad de impresión es el posicionamiento de los ejes, es por ellos de vital importancia la elección y puesta en marcha de un sistema de posicionamiento adecuado.

Actualmente la mayoría de impresoras 3D FDM usan guías de correas para el posicionamiento de los ejes, que se trata de un sistema económico pero presenta las desventajas, ya que son materiales elásticos, que tienden a deformarse con el esfuerzo y el tiempo, lo que conlleva la necesidad de un mantenimiento. A mayores distancias del trayecto de posicionamiento, mayores son los problemas. Luego si la impresora a desarrollar pretende ofrecer mayor área de trabajo será necesario emplear otros sistemas de posicionamiento. Como alternativa, se plantea el huso de husillos, extendido en máquinas de CNC, donde la revolución del motor se traduce en movimiento lineal proporcional al paso, aumentando la resolución.

A continuación se describirá un listado de piezas y herramientas necesarias para el montaje de los 3 ejes de coordenadas, también se comentaran posibles fallos a cometer y consejos del montaje, se tendrá como apoyo el manual de instrucciones original de Prusa, que se encuentra en su página oficial.

También haremos la distinción y se comentaran las modificaciones necesarias del eje x, para una impresora 3D con un único extrusor multimaterial y una impresora 3D con doble extrusor.



### 3.2. Montaje del eje X (Mono extrusor multmaterial)

Es en este eje X, también conocido como carro es donde se sitúa el cabezal de extrusión, guiado por una correa dentada que le proporciona el giro el motor a través de una polea.

Para comenzar vamos a indicar el listado de piezas y herramientas necesarias para realizar el montaje:

NOMBRE	UNIDADES	DESCRIPCION
<b>Varillas lisas (M8 x 440 mm)</b>	2	Métrica 8 y 440 mm de longitud
<b>Rodamientos lineales</b>	7	Modelo: LM8UU
<b>Rodamiento 623h</b>	1	Dim: 10 mm Doble cara-cara
<b>Polea dentada GT2-16</b>	1	Dim : 10 mm
<b>Correa dentada GT2</b>	1	1000 mm
<b>Motor NEMA 17</b>	1	REF: 42BYGHW609
<b>Final de carrera</b>	1	Final de carrera (end-stop)
<b>Tuerca cuadrada M3</b>	2	ISO 4036
<b>Tuerca autoblocante M3</b>	1	ISO 10669
<b>Tornillo M3 x 18 mm</b>	4	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
<b>Tornillo M3 x 10 mm</b>	2	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
<b>Tornillo M2,5 x 5mm</b>	2	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
<b>Bridas</b>	6	
<b>PIEZAS IMPRESAS EN ABS</b>	1	- Carruaje X
	1	- Soporte del motor X
	1	- Soporte polea X
<b>Herramientas y útiles</b>		- Llaves Allen (M2, M3)
		- Alicantes de punta
		- Lima para metal
		- Tornillo de banco

Tabla 4: Listado de materiales del EJE X (Mono extrusor multmaterial)

Una vez que disponemos de todo el material necesario procedemos a su montaje, con ayuda de manual de instrucciones. Indicamos a continuación los pasos necesarios:

1º Preparación de las varillas lisas, si disponemos de varillas de un metro, cortar las con las dimensiones dadas.

Limar los extremos haciendo un pequeño redondeo o chaflán en el extremo de la varilla, con el fin de poder introducir con facilidad los rodamientos lineales y piezas impresas en las varillas.

2º Introducir dos rodamientos lineales (LM8UU) en una varilla y otro en la otra varilla, si no deslizan bien lubricaremos las varillas.

3º Posteriormente introducir dos rodamientos lineales en cada una de las piezas del soporte de X, deben quedar alineados con los extremos de la pieza.

4º Introducir las tuercas de M3 y los tornillos M3x10, evitar el apriete excesivo ya que no es necesario y podría romper la pieza impresa.

5º Introducir las varillas lisas en las piezas impresas, cuidado con la orientación, seguir las indicaciones de la fotografía.

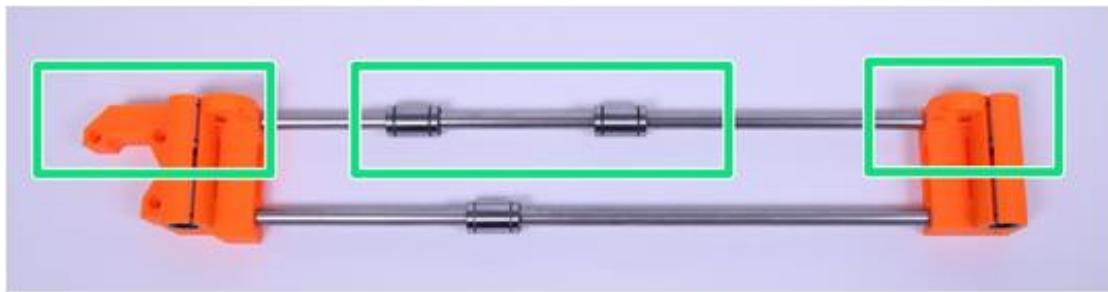


Figura 20: Ensamblaje del eje x; Fuente: Manual de montaje

6º Colocar el rodamiento 623h fijándolo con una tuerca autoblocante de M3 y el tornillo M3 x 18 mm.

7º Colocar el soporte del carro mediante las bridas, cortando el sobrante con los alicates. Asegúrese de que tiene la orientación adecuada.

8º Montaje del motor, antes limaremos el vástago del motor, haciendo una cara plana con el fin de que el apriete del prisionero sea uniforme. Éste paso lo realizamos para todos los motores. (Ver especificaciones en CAPITULO 6: SISTEMA ELECTRONICO)

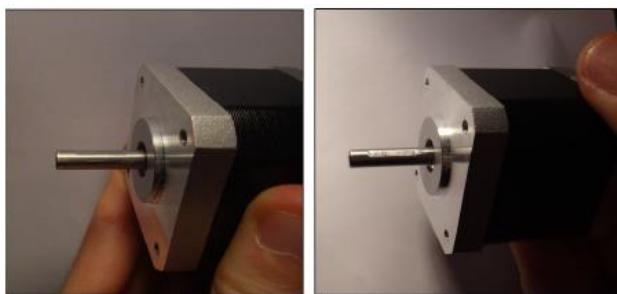


Figura 21: Planificación del vástago de los motores NEMA 17

Colocar el motor en la pieza del soporte con los tres tornillos M3 x 18mm, asegúrese de que la orientación es la correcta.

9º Montar la polea GT2-16 en el vástago del motor, orientándola justo con la salida de la correa y apretando el tornillo prisionero sobre la cara plana del vástago del motor.

10º Finalmente montar el final de carrera con los dos tornillos M2 x 12mm, asegúrese de que la posición es la correcta, antes de apretar los tornillo lleve el carro del extrusor al final de carrera verificando que toca con el final de carrera. Ya se tendría montado todo el eje X quedando como se muestra en la siguiente figura.



### 3.3. Montaje del eje X (Doble extrusor multmaterial)

Es en este eje X, al igual que el anterior, existirá un carro donde se ensambla el conjunto de extrusión, guiado cada uno por una correa dentada que le proporciona el giro el motor a través de una polea dentada (GT2), y en el lado opuesto pondremos una rueda pasiva que invierte el sentido.

Para comenzar vamos a indicar el listado de piezas y herramientas necesarias para realizar el montaje:

	NOMBRE	UNIDADES	DESCRIPCION
	<b>Varillas lisas (M8 x 440 mm)</b>	2	<b>Métrica 8 y 440 mm de longitud</b>
	<b>Rodamientos lineales</b>	10	<b>Modelo: LM8UU</b>
	<b>Rodamiento 623zz</b>	4	<b>Dim: 10 mm Doble cara-cara</b>
	<b>Polea dentada GT2-16</b>	2	<b>Dim : 10 mm</b>
	<b>Correa dentada GT2</b>	2	<b>1000 mm</b>
	<b>Motor NEMA 17 corto</b>	2	<b>REF: 42BYGHW609</b>
	<b>Final de carrera</b>	2	<b>Final de carrera (end-stop)</b>
	<b>Tuerca autoblocante M3</b>	2	<b>ISO 4036</b>
	<b>Arandela M3</b>	12	<b>ISO 10669</b>
	<b>Tornillo M3 x 45 mm</b>	2	<b>ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)</b>
	<b>Tornillo M3 x 18 mm</b>	8	<b>ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)</b>
	<b>Tornillo M2,5 x 5 mm</b>	4	<b>ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)</b>
	<b>Bridas</b>	12	
	<b>PIEZAS IMPRESAS EN ABS (modificadas)</b>	2	<b>- Carruaje X</b>
		1	<b>- Soporte izquierda doble X</b>
		1	<b>- Soporte derecha doble X</b>
	<b>Herramientas y útiles</b>		<b>- Llaves Allen (M2, M3)</b> <b>- Alicantes de punta</b> <b>- Lima para metal</b> <b>- Tornillo de banco</b>

Tabla 5: Listado de materiales del EJE X (Doble extrusor multmaterial)

Una vez que disponemos de todo el material necesario procedemos a su montaje, con ayuda de manual de instrucciones. Aunque se realice un doble extrusor, los pasos del ensamblaje son similares al anterior.

Antes de comenzar con la descripción de los pasos del montaje, se comentará las modificaciones y cambios realizado en las piezas impresas del soporte del eje x.



- **SOPORTES DOBLES**

En este caso no se distingue diferencia entre ambos soportes, es decir, no existe un soporte del motor y un soporte de la polea pasiva como en el caso anterior. En ambos soportes se alojará un motor y una polea pasiva, luego para ellos se han realizado modificaciones en ambas piezas que son las siguientes:

- Se ha aumentado la cota respecto al eje z (20 mm), con el fin de obtener unas piezas que permitan el paso de dos correas GT2, cada una de ellas se ensamblará al carro correspondiente donde se aloja cada uno de los dos extrusores instalados. Consecuentemente se aumentará la altura del hueco por donde se introduce la correa en el soporte.
- También se ha remodelado la pieza del soporte de polea pasiva del montaje anterior y se ha añadido un soporte para el motor similar al del lado opuesto, que proporciona el giro de la otra correa. Se ha tenido en cuenta que las poleas pasivas y las poleas de giro del motor estén totalmente alineadas horizontalmente.
- Además se añade a la altura deseada un taladro de M3, y en su lado opuesto un hexágono que permite el embutir la tuerca, en su interior se aloja la polea que gira solidariamente con el motor y la correa del lado opuesto.
- Por último se ha adaptado los orificios donde se ensamblaran las tuercas trapezoidales de los husillos de M8 del eje z, las cuales también se fijan al soporte impreso mediante cuatro tornillos pasantes de M3 roscando sobre unas tuercas embutidas en los soportes.  
Para poder embutar con mayor facilidad las tuercas en los orificios creados para ello, se pondrá a imprimir la pieza pausando la impresión en la altura deseada, introducir las tuercas y continuaremos la impresión.
- Las poleas pasivas serán de diámetro similar al de la polea de giro del motor GT2, (11 mm aprox.) para que todo el sistema de transmisión este alineado y su funcionamiento sea el correcto.



A continuación se muestra una imagen que ilustra las modificaciones comentadas anteriormente, también se ha añadido el plano acotado de dicha pieza en el capítulo correspondiente a la documentación gráfica.

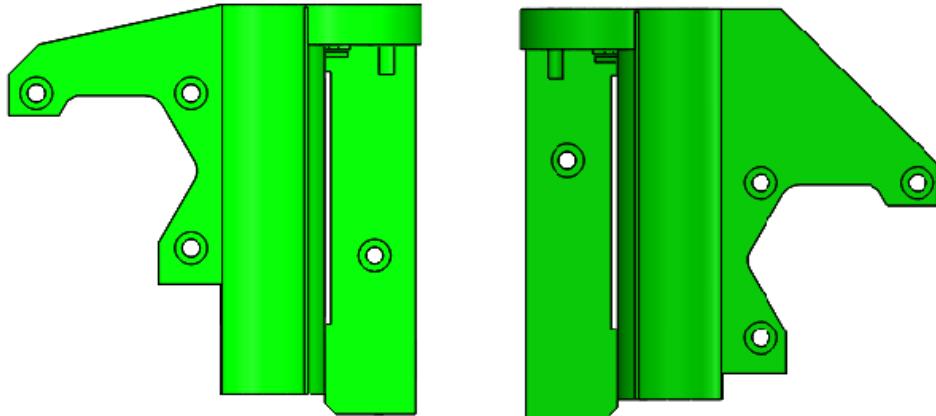


Figura 22: Soportes del eje x rediseñados para doble extrusor; Fuente: Elaboración propia con SW

- **CARRUAJE X**

Consecuentemente se ha rediseñado el carro del eje x del montaje anterior y se ha adaptado al doble extrusor, ya que la distancias entre las varillas lisas por donde deslizan los rodamientos lineales alojados en el carro ha aumentado su cota en z unos 20 mm, luego al aumentar dicha cota se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Además de aumentar dicha cota y que se sitúen los rodamientos lineales en sus alojamientos correspondientes a altura requerida, hay que hacer coincidir el paso de la correa por los orificios del carro que permiten su paso evitando el rozamiento de ambos elementos y también permita la fijación del auto bloqueo de la correa.
- Para ello se ha partido perpendicularmente la pieza en 3 partes diferenciando entre las dos partes, la superior e inferior que alojan los rodamientos lineales y la parte central que se encuentra el paso de la correa y su fijación por auto bloqueo. En la siguiente una imagen se muestra lo descrito anteriormente.

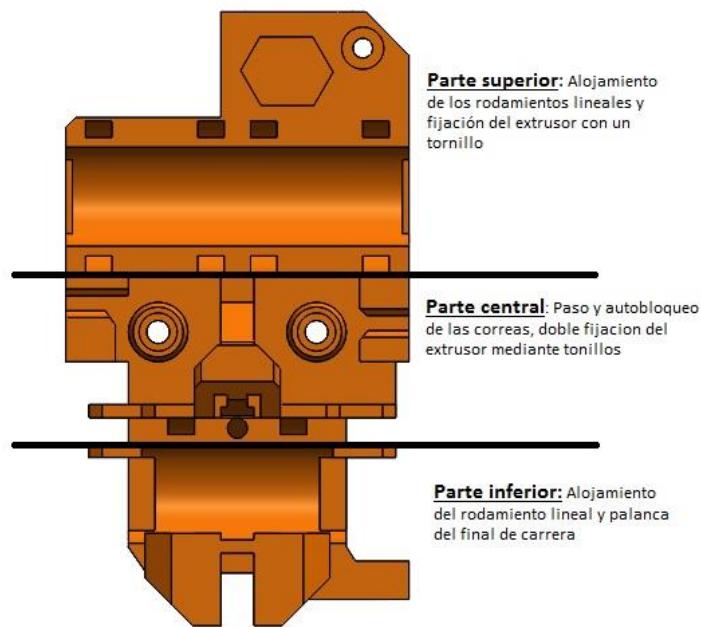


Figura 23: División del carro del eje x (original) ; Fuente: Elaboración propia con SW

En la parte superior modificaremos la posición del taladro, es decir, se centrará para hacer coincidir con el adaptador multimaterial y fijarse al extrusor aportando rigidez al conjunto.

- En la parte central, como se diseñarán dos carros del eje x, uno para cada extrusor. Uno de los carros se le aumentará 20 mm de la parte central superior que permite el paso libre de la correa y en la parte central inferior se dejará para el paso de la correa y su auto bloqueo. El otro carro lo haremos a la inversa, aumentando 20 mm de la parte central inferior y dejando la parte central.
- También pondremos el paso de la correa de entrada totalmente alineado con la salida, ya que como se comentó anteriormente las dos poleas están totalmente alineadas y son del diámetro similar.
- En la parte central se reajustará la posición de los taladros de uno de los carros, haciéndolos coincidir con la posición del carro original, con el fin de que el extrusor no sufra modificaciones y se ubique en la misma posición que la original.
- Por último en la parte inferior pondremos un brazo de la palanca en el lado opuesto que permite el accionamiento del final de carrera a cada lado correspondiente, ya que este sistema incorpora dos finales de carrera, uno a cada lado, uno para cada carro.

A continuación se muestra una imagen ilustrativa donde se ve reflejado los cambios del diseño del nuevo carro, además se añade el plano correspondiente con sus vistas principales y acotación que ayudara a la descripción descrita anteriormente.

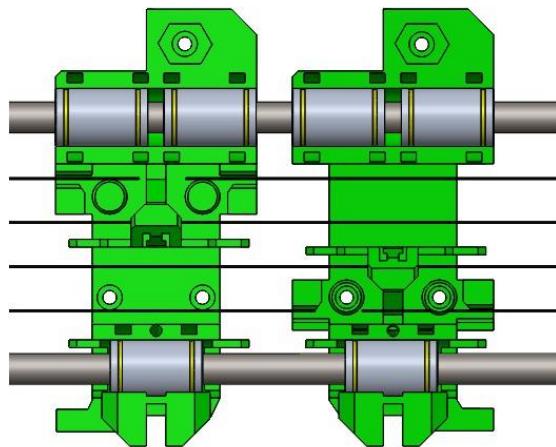


Figura 24: Carruaje del eje x rediseñados para doble extrusor; Fuente: Elaboración propia con SW

En cuanto al montaje y ensamblaje del eje x, seguimos los mismos pasos descritos en el apartado anterior, aunque evidentemente se montaran dos motores, con sus dos poleas y correas. También se debe tener en cuenta que las varillas lisas incorporan el doble de rodamientos lineales para poder incorporar un doble carro.

Introducir cuatro rodamientos lineales (LM8UU) en una varilla y otros dos en la otra varilla, si no deslizan bien lubricaremos las varillas.

También se montaran los dos finales de carrera uno a cada soporte, verificando el contacto del carro con el final de carrera.

Por último se muestra una imagen del ensamblaje del eje x con doble carro.

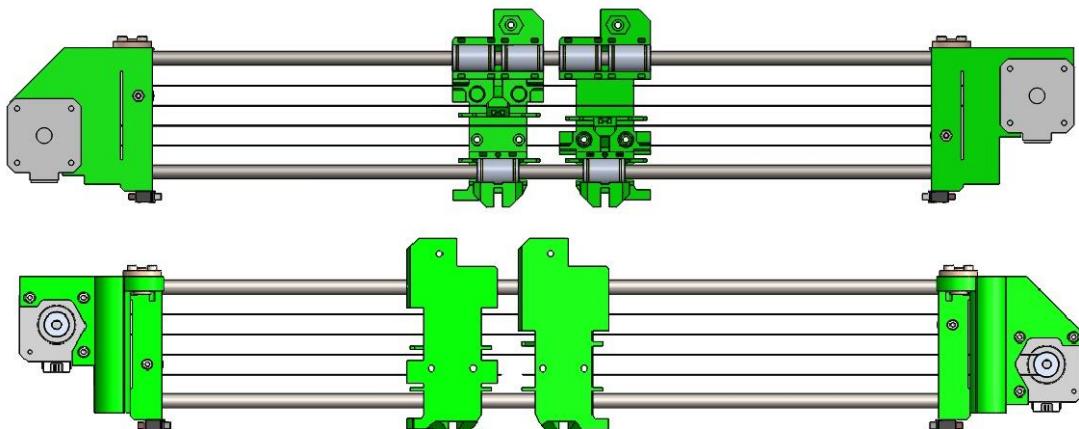


Figura 25: Ensamblaje del eje x con doble carro; Fuente: Elaboración propia con SW



### 3.4. Montaje del eje Z

En este eje, la plataforma impresión encargada de proporcionar el movimiento vertical. Para ello cuenta con un husillo accionado por un motor paso a paso y dos guías de acero sobre las que desliza la plataforma con ayuda de los rodamientos lineales instalados en el eje.

A continuación vamos a indicar el listado de piezas y herramientas necesarias para realizar el montaje:

NOMBRE	UNIDADES	DESCRIPCION
<i>Varillas lisas (M8 x 400 mm)</i>	2	Métrica 8 y 400 mm de longitud
<i>Husillos (M8 x 440 mm)</i>	2	Métrica 8 y 440 mm de longitud
<i>Tuerca trapezoidal M8 del husillo</i>	2	Paso 1,5 mm
<i>Acopladores flexibles de Al</i>	2	De M8 a M5
<i>Motor NEMA 17</i>	2	REF: 42BYGHW811
<i>Final de carrera</i>	1	Final de carrera (end-stop)
<i>Tuerca cabeza martillo</i>	4	Tuerca para perfil ranurado 30x30
<i>Tornillo M4 x 10 mm</i>	4	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
<i>Tornillo M3 x 10 mm</i>	8	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
<b>PIEZAS IMPRESAS EN ABS</b>		- Soportes inferiores - Soporte superiores
<i>Herramientas y útiles</i>		- Llaves Allen (M1.5, M3,M4) - Alicantes de punta - Lima para metal - Tornillo de banco

Tabla 6: Listado de materiales del EJE Z

Una vez que disponemos de todo el material necesario procedemos a su montaje, con ayuda de manual de instrucciones. Indicamos a continuación los pasos necesarios, que serán procesos paralelos en ambos pilares laterales.

1º Preparación de las varillas lisas y husillos, si disponemos de varillas de un metro, cortar las con las dimensiones dadas.

Limar los extremos haciendo un pequeño redondeo o chaflán en el extremo de la varilla, con el fin de poder introducir con facilidad los rodamientos lineales y piezas impresas en las varillas.

Las especificaciones técnicas de acotación del husillo son:

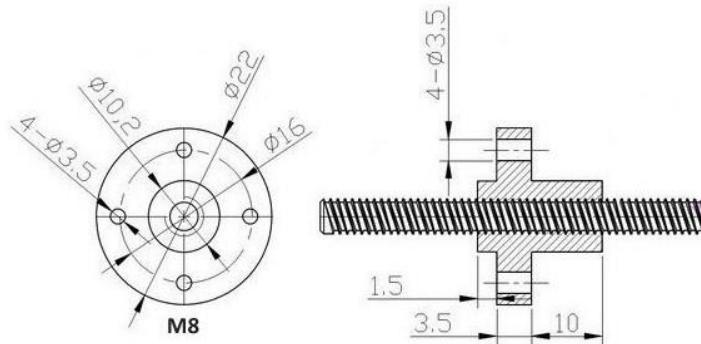


Figura 26: Husillo y tuerca trapezoidal M8; Fuente: Motedis

2º Fijamos las piezas del soporte a los motores paso a paso NEMA 17 con cuatro tornillos de M3 x 18 mm y arandelas.

3º Con los motores ya planificados un plano del vástago como en el paso 8º del montaje del eje X, introducimos los acopladores flexibles en el vástago del motor por un extremo y por el otro introducimos el husillo. Apretamos los tornillos prisioneros contra el plano del vástago con la llave Allen 1,5 mm.

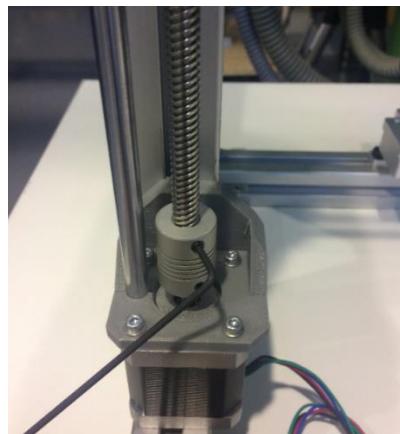


Figura 27: Fijación de acopladores flexibles; Fuente: Tals Lab

4º Fijamos las piezas del soporte del eje Z en la estructura con tornillos M4 x 10mm y tuercas cabeza de martillo, alineadas con los extremos de las estructura.

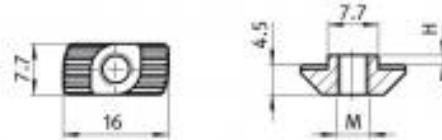
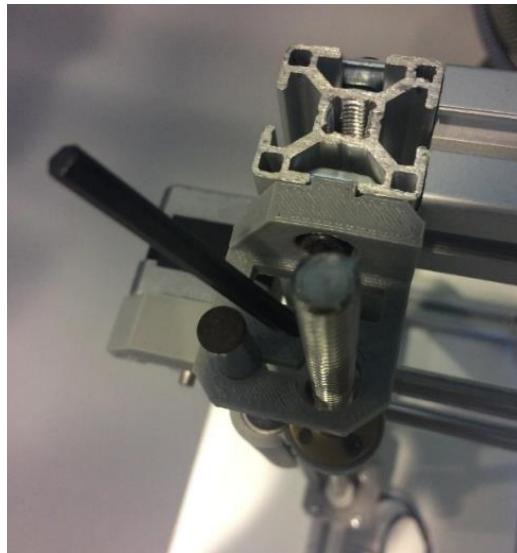


Figura 28: Tuerca cabeza de martillo; Fuente: Motedis

Figura 29: Soporte superior en perfil ranurado; Fuente: TaIS Lab

5º Introducimos las varillas lisas en soportes del eje X pasando por los rodamientos lineales y cada extremo en los soportes de los motores del eje Z.

6º Ensamblamos el husillo a lo largo del eje Z, y fijamos mediante cuatro tornillos M3x8mm la tuerca trapezoidal de los husillos a los soportes del eje X.



Figura 30: Fijación de la tuerca trapezoidal del husillo en los soportes del eje z; Fuente: TaIS Lab

7º Finalmente fijamos los soportes de los motores a la estructura mediante los tornillos M4x10mm y las tuercas con cabeza de martillo.



### 3.5. Montaje del eje Y

Es en este eje Y, también conocido como eje de la cama caliente, guiado por una correa dentada que le proporciona el giro el motor a través de una polea.

Debido a que la base de la estructura se ha realizado con los perfiles ranurados de 30x30 mm, vamos a colocar guías lineales de 12 mm con sus respectivos cojinetes lineales y soportes, proporcionando movimientos lineales precisos.

Para comenzar vamos a indicar el listado de piezas y herramientas necesarias para realizar el montaje:

	NOMBRE	UNIDADES	DESCRIPCION
	<i>Varillas lisas (M12 x 440 mm)</i>	2	Métrica 12 y 440 mm de longitud
	<i>Guías lineales</i>	4	Guías + Rodamientos lineales
	<i>Soportes de M12</i>	4	Soporte metálico
	<i>Polea dentada GT2-16</i>	1	Dim : 10 mm
	<i>Correa dentada GT2</i>	1	325 mm
	<i>Motor NEMA 17</i>	2	REF: 42BYGHW609
	<i>Final de carrera</i>	1	Final de carrera (end-stop)
	<i>Tuerca cabeza martillo</i>	10	Tuerca para perfil ranurado 30x30
	<i>Perfil ranurado 20x20</i>	2	400 mm
	<i>Perfil ranurado 20x20</i>	1	200 mm
	<i>Tuerca cabeza martillo</i>	16	Tuerca para perfil ranurado 20x20
	<i>Escuadra interior</i>	4	Escuadra para perfil 20x20
	<i>Tornillo M5 x 18 mm</i>	4	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
	<i>Tornillo M5 x 25 mm</i>	10	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
	<i>Tornillo M5 x 10 mm</i>	8	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
	<i>Tornillo M4 x 20 mm</i>	4	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
	<i>Tornillo M4 x 16 mm</i>	2	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
	<i>Tornillo M3 x 12 mm</i>	8	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
	<i>Tornillo M2,5 x 5 mm</i>	2	ISO 4762 (Cabeza hex. hueca)
	<i>Arandela plana M4</i>	1	ISO 10669
	<i>Tuerca hexagonal M4</i>	1	ISO 4036
	<b>PIEZAS IMPRESAS EN ABS</b>	1	- Soporte correa dentada
		1	- Soporte motor NEMA 17
		1	- Soporte polea
	<b>Herramientas</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>- Llaves Allen (M2, M3,M4,M5)</li><li>- Alicantes de punta</li><li>- Lima para metal</li><li>- Tornillo de banco</li></ul>

Tabla 7: Listado de materiales del EJE Y



Una vez que disponemos de todo el material necesario procedemos a su montaje, con ayuda de manual de instrucciones.

1º Preparación de las varillas lisas, si disponemos de varillas de un metro, cortar las con las dimensiones dadas.

Limar los extremos haciendo un pequeño redondeo o chaflán en el extremo de la varilla, con el fin de poder introducir con facilidad los rodamientos lineales y piezas impresas en las varillas.

2º Introducir dos rodamientos lineales + soporte (LM8UU) en una varilla y otros dos en la otra varilla, si no deslizan bien lubricaremos las varillas.

3º Además montaremos los soportes en los extremos de las guías lineales.



Figura 31: Guías lineales con soportes del eje y; Fuente: Motedis

4º Fijaremos los soportes de las guías lineales a la base de estructura mediante los 8 tornillos de M5 x 10 mm y tuercas con cabeza de martillo.

La distancia de las varillas será equidistante a lo largo de la longitud de base de la estructura del perfil ranurado (147 mm desde el extremo de la estructura).

5º La base de la cama caliente la realizaremos con perfiles de aluminio ranurado de 20x20-5mm, obteniendo una estructura en forma de dos traviesas de 400mm y un larguero central que rigidizará la estructura, además podemos obtener mayor versatilidad en la colocación de camas calientes de diferente tamaños.

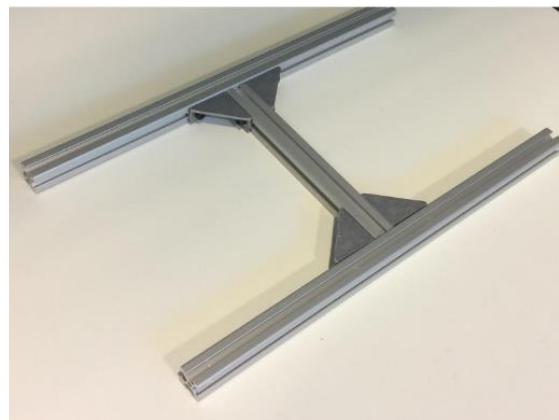


Figura 32: Subestructura perfil 20x20 del eje y; Fuente: Tals Lab

6º Fijamos la estructura de la cama caliente a las guías lineales mediante tornillos de M4x 40 mm y tuercas de cabeza de martillo que anclan en la ranura del perfil.

7º Fijamos el soporte de la correa de la dentada en la estructura del perfil ranurado de 20x20, mediante 2 tuercas ranuradas y tornillos M4 x 40 mm.

8º Ensamblamos el conjunto del motor Nema 17 con su soporte diseñado, mediante dos tornillos de M4 x 16 mm. Además instalaremos el final de carrera con los tornillos M2,5 x 5mm y la polea GT2 que introducimos en el vástago planificado del motor.

El soporte lo fijamos al perfil ranurado de la estructura mediante la tuerca de cabeza de martillo y un tornillo M5 x 25 mm.

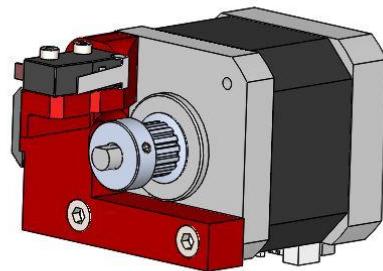


Figura 33: Ensamblaje soporte motor eje y; Fuente: Elaboración propia con SW

9º Ensamblamos el soporte del polea GT2, que se fijara a la estructura igual que el soporte motor, visto anteriormente. La polea va fijada con un tornillo pasante M4 X 25 mm, la arandela y tuerca M4.

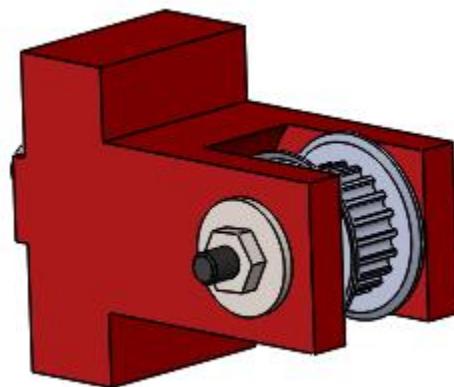


Figura 34: Ensamblaje soporte polea eje y; Fuente: Elaboración propia con SW

10º Por último montamos la correa y damos por finalizado el ensamblaje del eje Y, donde posteriormente ensamblaremos la cama caliente.

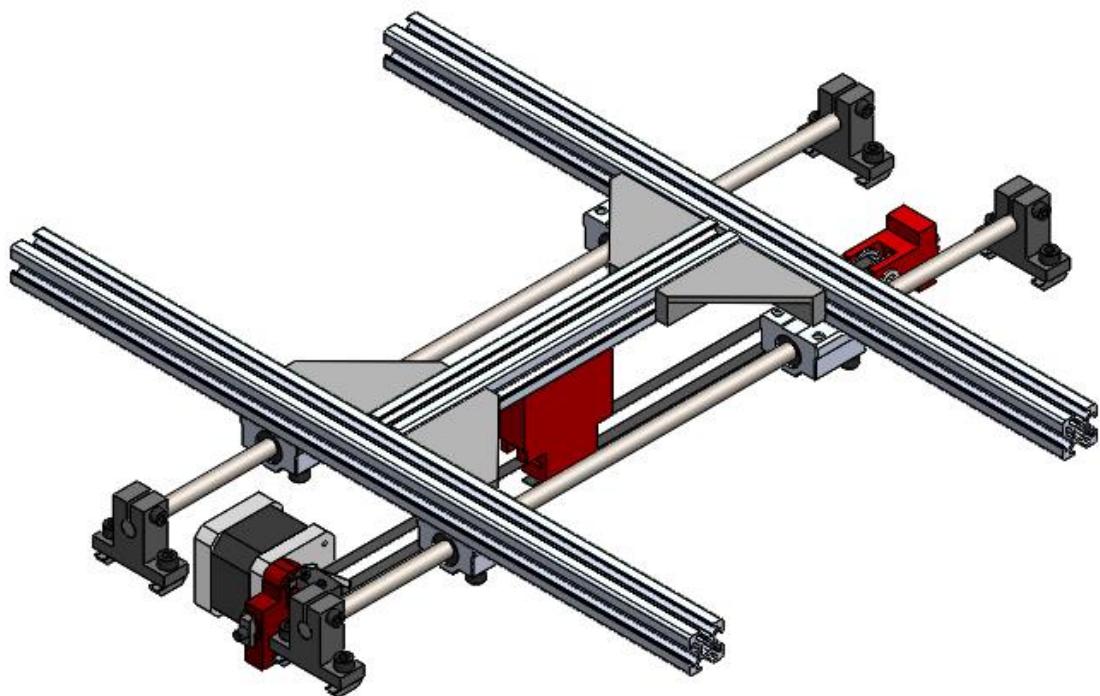


Figura 35: Ensamblaje final del EJE Y; Fuente: Elaboración propia con SW

### 3.6. Conclusiones

Por último una vez que hemos realizado el montaje de los tres ejes de coordenadas, comprobamos que el desplazamiento y movimiento de los ejes se efectúa de sin incidencias y se desliza suavemente, sino es así podemos lubricar las varillas lisas con vaselina, grasa de litio o algún lubricante comercial, además del tensado de las correas que garanticen un movimiento lineal de los componentes.

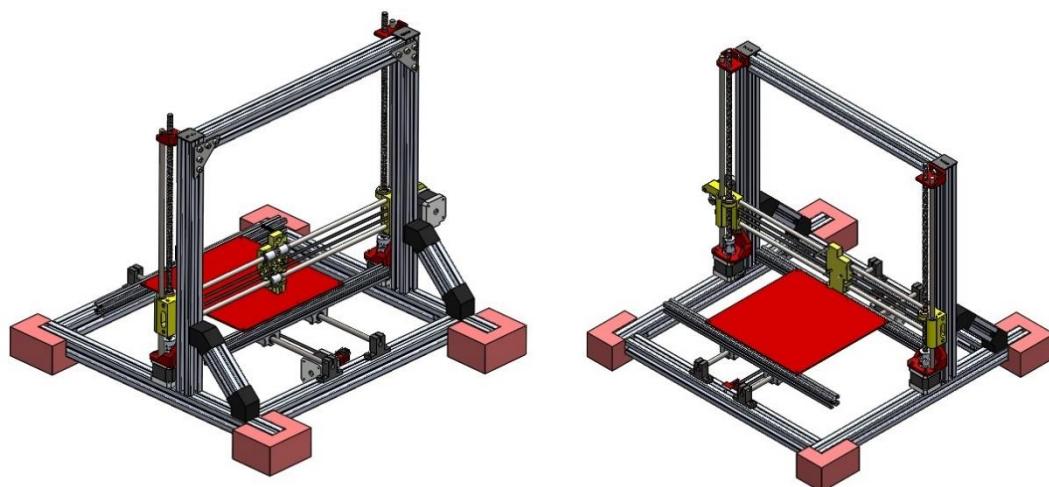


Figura 36: Ensamblaje estructura con los 3 ejes; Fuente: Elaboración propia con SW

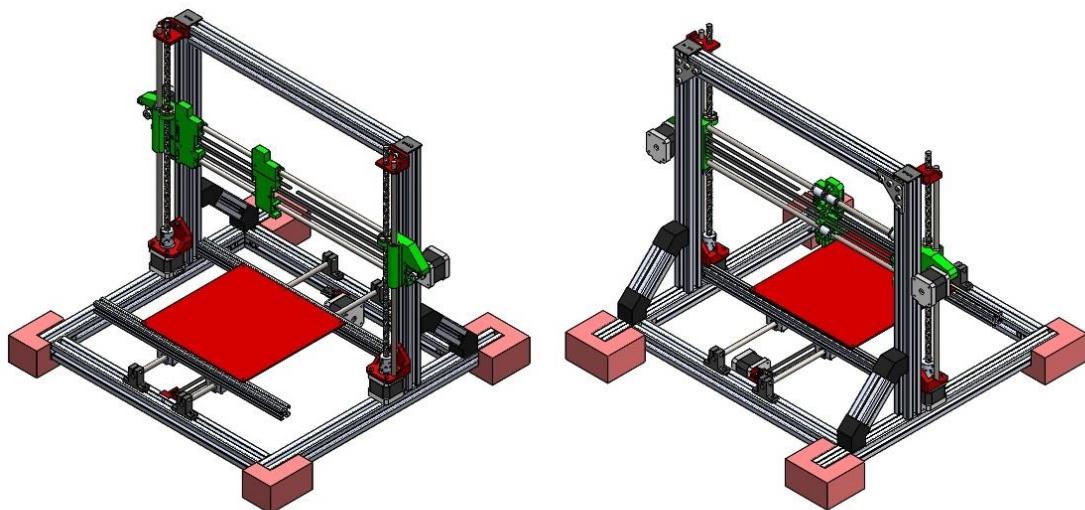


Figura 37: Ensamblaje estructura con los 3 ejes doble carro; Fuente: Elaboración propia con SW



# CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA MULTIFILAMENTOS

## 4.1. Introducción

Como objetivo principal de este TFG es el diseño y construcción de un sistema capaz de alternar la impresión entre varios filamentos de diferente material, con el fin de poder fabricar piezas hibridas, de dos materiales sin tener que cambiar de un filamento a otro por parte del usuario.

En este capítulo introduciremos al lector cómo funcionará y las partes de un sistema de extrusión directa, formado por un hot-end modelo Budaschnozzle Volcano.

## 4.2. Fundamentos básicos de los sistemas multifilamentos

Como ya se ha indicado en el presente proyecto, el mundo de las impresoras 3D está en continuo avance, por tanto ha de actualizar información con los diferentes fabricantes líderes del mercado y páginas de la red.

Por tanto uno de los elementos más importantes de la máquina de prototipado rápido es el extrusor. Se encargara de calentar, empujar y posicionar el material en las distintas capas de la pieza. Es por ello que junto a las guías va a determinar la velocidad máxima a la que puede funcionar la impresora.

En este proyecto se va optar como se ha mencionado anteriormente a diseñar un nuevo extrusor como alternativa de los ya disponibles.

Para ello se va establecer las siguientes preferencias:

- El extrusor debe de poder funcionar con dos materiales a la vez.
- El hot-end estará fabricado en aluminio que garantizará propiedades mecánicas y térmicas.
- El extrusor ha de tener piezas sencillas, con el fin de realizar operaciones de mantenimiento.

A continuación se detalla las posibles ideas de extrusión múltiple:

- Como primera idea era la construcción de un sistema de extrusión multifilamento mediante dos cabezales, donde cada cabezal es capaz de extruir un material diferente.[9]

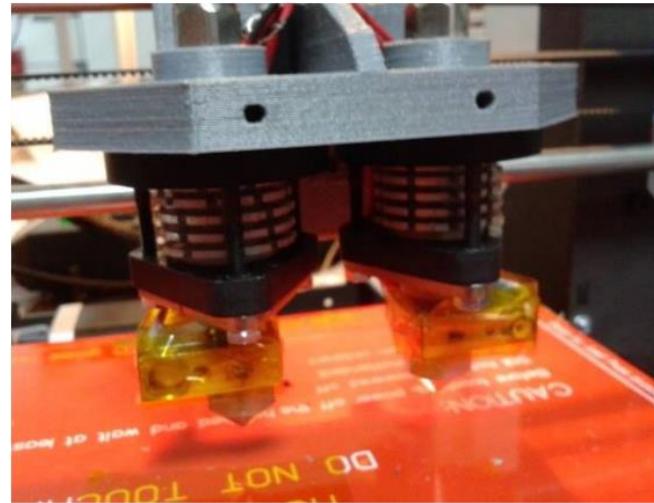


Figura 38: Impresora 3D con doble extrusor; Fuente: RepRap

- Otra idea es la incorporación de un cabezal de impresión múltiple, conocido como cabezal diamante.[10] [11]



Figura 39: Boquilla para varios hotend (DIAMONT); Fuente: Aliexpress

- Por último se ha presentado la idea de un único extrusor, pero a la hora de tracción del material se accionará el motor paso a paso del filamento deseado consiguiendo extruir tanto un material como otro.

Por lo que el sistema elegido sería sistema de extrusión directa, combinado con un sistema de bowden que traccionará el material que se desee extruir.

Para ello se ha diseñado un adaptador que se ensamblará al cuerpo del extrusor y en su interior llevará un Y donde bifurcan ambos materiales.

Como líneas futuras cabe la posibilidad del diseño de un adaptador con tres o incluso más materiales.

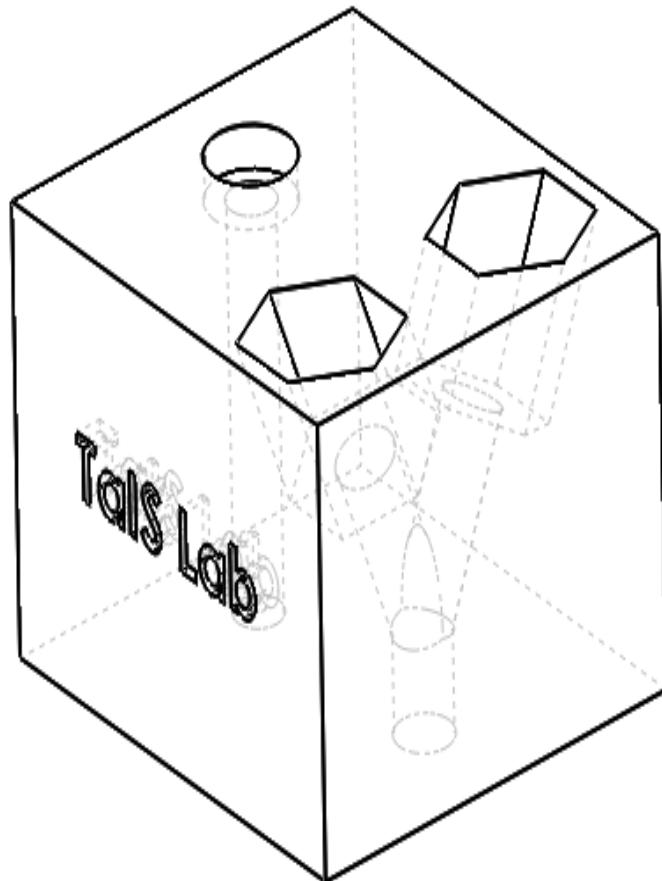


Figura 40: Adaptador de dos materiales; Fuente: Elaboración propia con SW

En el siguiente apartado analizaremos las restricciones de cada uno de los sistemas planteados.

### 4.3. Restricciones del sistema

De las ideas planteadas nos surgen las siguientes restricciones que adoptaran elegir un sistema u otro.

- El sistema de dos cabezales de impresión tiene las desventajas siguientes:
  - Desalineación de los dos eyectores.

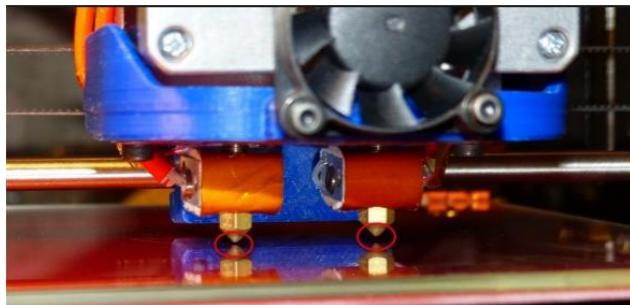


Figura 41: Problema de desalineación en extrusores con dos boquillas

- El área de impresión se ve reducida ya que ocupan más los dos cabezales (sobre todo en los extremos de la cama caliente).
- Material sobrante indeseado se adhiere a la pieza en el cambio de cabezal.
- Creación de 3 archivos STL y agruparlos en un solo STL.

El sistema de doble cabezal del eje X, presenta el inconveniente principal que supone el doble de piezas y consecuentemente el precio de la impresora se incrementa, además de la programación y sincronización de ambos cabezales.

- El sistema de cabezal diamante tiene la mayor desventaja en que no es fácil el trabajar con distintos materiales a la vez, ya que cada material requiere un temperatura.
  - Ambos sistemas multiextrusor de los mencionados anteriormente supondría un sistema de mayor coste económico, ya que incorpora un número mayor de elementos.
- El último sistema de un adaptador multifilamento con tracción directa solidaria con las bobinas de filamentos presenta el mayor inconveniente en el retroceso del material que al estar caliente puede deformarse y obstruir los conductos

### 4.4. Conclusiones

Como conclusión y decisión hemos tomado la alternativa del sistema de adaptador multifilamento con tracción mixta ya que es menos costoso, el montaje de un único extrusor frente a un doble extrusor y además el sistema que menos desventajas presenta respecto a los demás sistemas planteados.

Como solución al retroceso del filamento se ha pensado en programar el software para que el retroceso se haga al cabo de cierto tiempo donde el material ya se haya endurecido y se pueda evitar la obturación.



# CAPÍTULO 5: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DOBLE EXTRUSOR

## 5.1. Introducción

Como ya se ha mencionado anteriormente el objetivo principal de este TFG es el diseño y construcción de un sistema de extrusión multifilamentos capaz de alternar entre varios materiales.

Además esta pieza se considera una de las más importantes de las impresoras 3D, ya que es la encargada del calentamiento, la tracción y el posicionamiento del material.

En este capítulo se abordara todo lo relacionado con el sistema de extrusión del material, por tanto haremos una descripción de los diferentes elementos que lo componen, se tomaran una serie de decisiones y consideraciones precios al diseño que serán de gran importancia.

Posteriormente se realizará el diseño, fabricación y ensamblaje de las diferentes piezas que componen el sistema.

## 5.2. Tipos de extrusores (*control de tracción*)

En este apartado se describirá y analizará los tipos de extrusores más comunes que existen en la impresión 3D.

### 5.2.1. Extrusión de tracción indirecta (bowden)

En este tipo de extrusión como bien su nombre indica la tracción del filamento se realiza de forma indirecta o también conocida como tracción *Bowden* (sistema que proviene del cable mecánico flexible usado para la transmisión mecánica, como por ejemplo el freno de las bicicletas).

Este sistema lleva el filamento de la bobina del material hasta la boquilla del extrusor mediante un tubo flexible de teflón (PTFE), traccionado por el motor instalado para tal fin.

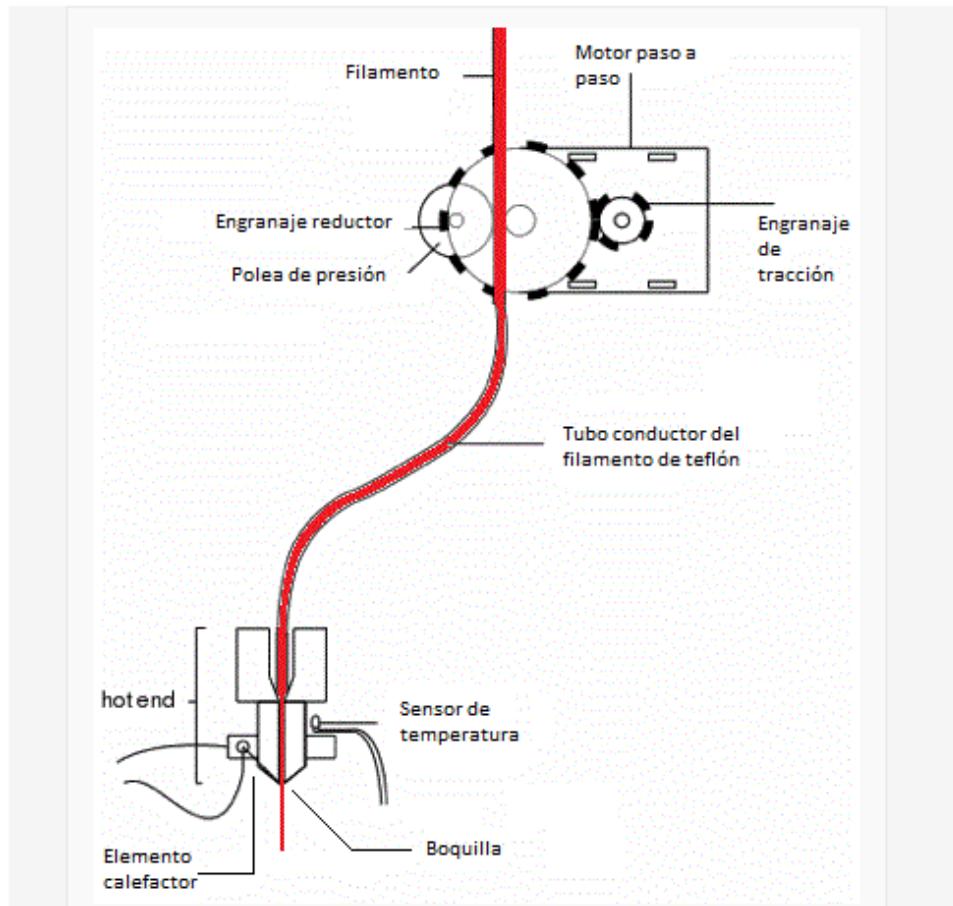


Figura 42: Descripción del funcionamiento de extrusión BOWDEN

Como ventajas se puede mencionar que:

- Al estar no estar el motor instalado en el extrusor se aligera el peso y tamaño del mismo.
- Al poseer menos peso y tamaño sobre el carro del eje X se desplaza con mayor facilidad.

Y entre sus inconvenientes se podría mencionar que:

- Es un sistema más complejo de montar y mantener (susceptible a fallos)
- Tiene más posibilidades de sufrir exudación indeseada

### 5.2.2. Extrusión de tracción directa

Este sistema de extrusión es más simple y efectivo que el anterior, el filamento pasa de forma directa desde la bobina hasta la boquilla del extrusor. La tracción se ha realizado mediante el motor ubicado en el mismo extrusor.

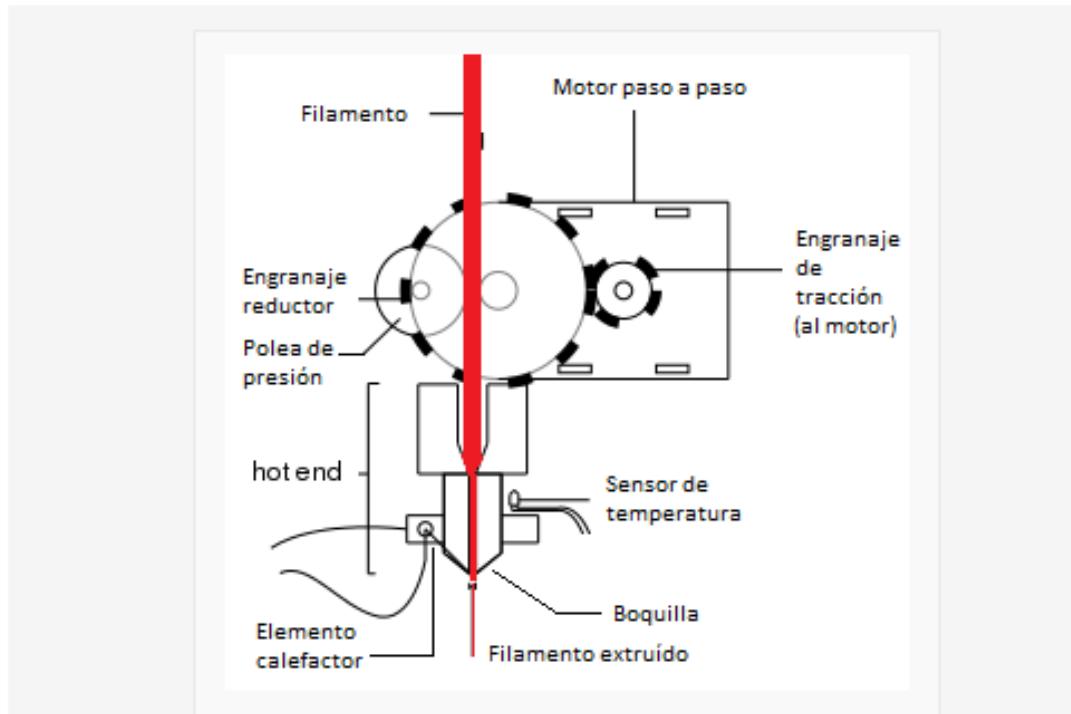


Figura 43: Descripción del funcionamiento de extrusión DIRECTA

Entre sus ventajas se pueden nombrar:

- Extrusor compacto.
- Fácil comprobación de avería o resolución de atasco.
- Totalmente desmontable.

Pero, como todo, también tiene sus inconvenientes:

- El conjunto es más pesado y de mayor dimensión, eso afecta al desplazamiento de los ejes X y Z.



### 5.2.3. Sistema mixto

En nuestro proyecto se ha decidido montar un sistema mixto, se trata de extrusión directa donde se tracciona el material deseado hacia la boquilla y además incorpora un sistema de extrusión indirecta para cada material, el cual será sometido a tracción o recogido cuando se desee, ya que en ellos se basa el principio de nuestra impresora para poder intercambiar entre ambos materiales.

El material que se dispone en bobinas de filamento se posicionará con ayuda de los soportes, en la parte superior de la impresora.

EL filamento entrará en el sistema de tracción del suministro de material o como también se conoce bowden. Este sistema está formado por:

- Un soporte del motor, es la pieza diseñada mediante CAD e impresa que soportara el motor y donde se ensamblará los componentes de la tracción.
- Un motor paso a paso modelo NEMA 17, se utiliza para proporcionar el movimiento, en su vástago el cual haremos una cara plana como se vio en el Capítulo 3: MONTAJES DE LOS EJES, llevará una polea de tracción.

Este motor es controlado por la electrónica de la impresora y gira en pequeños pasos (fracciones de giro) precisos para que la tracción sea de la cantidad exacta en cada momento.

- Una polea de tracción del material, va introducida en el vástago del motor paso a paso. Tiene una serie de dientes, ranuras lineales o mohleteado que faciliten el contacto directo con el filamento y el movimiento sea sólido.
- Rodamiento de presión, se trata de un rodamiento normal con el que se pretende presionar el filamento, con el fin de garantizar el contacto directo del filamento y la polea de tracción.
- Guía del filamento, se trata de un tubo simple con las dimensiones de 4mm de diámetro exterior y 2 mm de diámetro interior (para filamentos de 1,75mm).

El material del tubo es PTFE (teflón) ya que se trata de un material con un coeficiente muy bajo de rozamiento, lo que beneficiará el deslizamiento del filamento a través de él, además se trata de un material flexible ya que debe permitir el desplazamiento a lo largo de la dimensión de impresión.

- Adaptadores neumáticos Pneufit, se trata de un adaptador racor para fijar el tubo de teflón a las distintas partes, tanto el bowden como el extrusor.
- Adaptadores de multifilamento, se trata de la pieza diseñada por nosotros que pondrá de manifiesto la entrada de dos materiales y una única salida.



### 5.3. Componentes del extrusor

El sistema de extrusión está compuesto al igual que el sistema de posicionamiento, por componentes ya fabricados, los cuales compraremos y por componentes imprimibles, los cuales diseñaremos e imprimiremos en otras impresoras 3D.

También se debe tener en cuenta el sistema de tracción de material, al igual que el descrito anteriormente para bowden, el del extrusor esta formador por el motor paso a paso, el rodamiento de presión y los tubos de guías de filamento PTFE.

#### 5.3.1. Cuerpo del extrusor

El cuerpo del extrusor se trata de un conjunto de piezas impresas, en este caso en material elegido es ABS, ya que nos ofrece cualidades de resistencia mecánica y temperatura que serán suficientes para el sistema de extrusión, ya que en él se soportan altas temperaturas que deben resistir dichas piezas.

Sobre el cuerpo se ensamblaran el resto de componentes, los cuales se describirán posteriormente. Para ello con ayuda del manual de instrucciones realizamos el montaje.

Además adaptaremos el adaptador multimaterial diseñado en el capítulo anterior para que dicho adaptador se ensamble en la parte superior del extrusor y tenga la tuerca para poder fijar el carro del extrusor doble del eje x al conjunto del extrusor.

A continuación en la siguiente tabla se recogen todos los componentes, los cuales han sido rediseñado y modificado para nuestro proyecto.

NOMBRE	IMAGEN	FUNCIÓN	T. IMP.
<b>CUERPO DEL EXTRUSOR FRONTAL</b>		Es la pieza central del extrusor, En él se ensamblan todas la mayoría de las piezas que componen el extrusor, como el Hotend, motor, ventiladores. Recibe el filamento y lo guía hasta el Hotend. Se ha modificado y remodelado esta pieza con el de poder acoplar el adaptador diseñado para varios filamentos, el diámetro del sensor de inductivo y los huecos donde se introducen las tuercas cuadradas.	120 min ABS
<b>CUBIERTA DEL CUERPO EXTRUSOR</b>		Desempeña la misma función que el cuerpo del extrusor, ya que junto a él formarán un único sólido. Esta pieza no ha sido necesaria remodelar.	40 min ABS
<b>SOPORTE DEL RODILLO DE PRESION</b>		En esta pieza se aloja un pequeño eje con el rodillo que presionara el filamento contra la polea de tracción. Esta pieza no se ha modificado.	20 min ABS
<b>TOBERA VENTILADOR DE CAPA</b>		Es la pieza encargada de dirigir el flujo de aire a la posición adecuada de la capa de impresión. Se ha modificado esta pieza para que se adapte a la altura del Hotend.	20 min ABS

Tabla 8: Listados de piezas impresas del cuerpo del extrusor

### 5.3.2. Extremo caliente (Hotend)

El extremo cante, inyector o fusor es la pieza encargada de fundir el material con el que imprime la impresora, por tanto una de las más importantes en relación a la calidad de impresión.

En él se pueden distinguir 4 piezas fundamentales las cuales describiremos a continua-



Figura 44: Hotend 3D-V6 VOLCANO; Fuente: Elaboración propia con SW Render

En nuestro caso vamos a utilizar un Hotend del modelo **E3d-V6 (Volcano)**[12], este modelo es de los últimos que existe de la gama E3D-V6 a 12V con todo metálico.

Con este modelo conseguiremos impresiones de alta calidad y en un tiempo menor, al tratarse de un sólido metálico completo es capaz de fundir material a mayor velocidad, lo que permite usar boquillas de mayor diámetro y alturas de capa superior.

Otra ventaja es que no se trata de un único sólido integrado, luego se puede desmontar con el fin de las tareas de mantenimiento.

### 5.3.3. Soporte metálico disipador de calor (Heat sink)

Se trata del cuerpo del Hotend, pone en contacto el bloque caliente con los componentes mecánicos de la tracción del material. Está construido totalmente en aluminio y tiene unas aletas que le permiten la disipación de calor que le ayudara un ventilador instalado en la zona con el fin de que el material se reblandezca, aumente su coeficiente de fricción y se atasque. También existen cuerpos de PEEK, se trata de un tipo de plástico que no dilata a altas temperaturas.

En su interior alberga un tubo de teflón (PTFE) con un diámetro interior de 2mm y diámetro exterior de 4 mm por donde pasará el filamento de 1,75 mm de diámetro que aislará del calor que pueda tener las paredes del soporte y facilitará su tracción debido al bajo coeficiente de rozamiento que tiene el teflón, hay que tener especial cuidado ya que a 240°C comienza a deformarse y puede obstruir el conducto del material.

### 5.3.4. Ventilador de refrigeración del extrusor

Como ya se ha mencionado anteriormente el soporte metálico posee unas aletas de refrigeración, además instalaremos un ventilador que proporcionara un flujo forzado de aire entre las aletas con el fin de refrigerar con mayor facilidad.

El ventilador tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Voltaje de alimentación: 12V DC

Corriente de trabajo:	80 ± 10% mA
Velocidad:	6000 ± 10% RPM
Flujo de aire:	3.45 CFM ± 10%
Dimensiones:	30 x 30 x 10mm
Número de aspas:	5

Tabla 9: Especificaciones técnicas del ventilador del extrusor



Figura 46: Ventilador del extrusor 12V

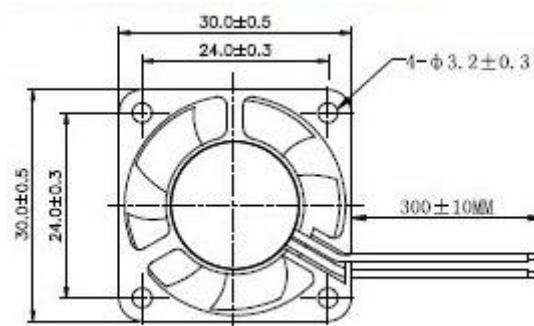


Figura 45: Ventilador del extrusor (Acotación)

### 5.3.5. Barrera térmica (Heat break)

Entre el bloque caliente y el soporte metálico se encuentra la barrera térmica de acero inoxidable, con el fin de no transmitir el calor. En su interior existe un tubo de teflón para un mínimo y óptimo coeficiente de rozamiento. La barrera tiene una rosca exterior de M6 y una longitud de 26 mm.

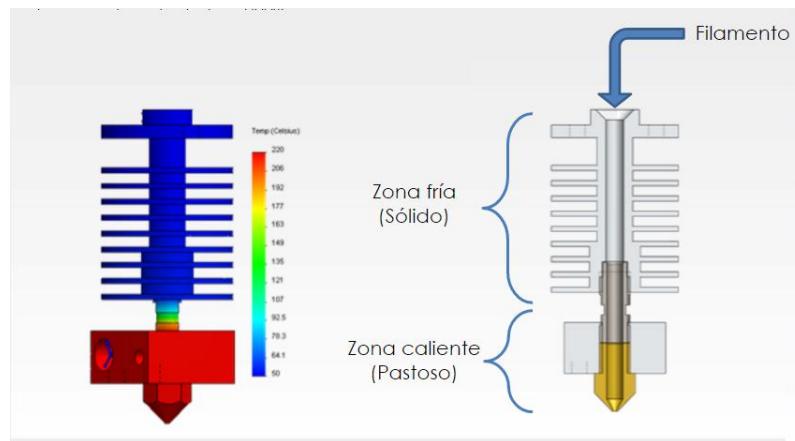


Figura 47: Imagen termo gráfica de la temperatura del hotend

### 5.3.6. Bloque caliente (Hot block)

Se trata de como bien su nombre indica en un bloque de aluminio o latón para favorecer la transmisión térmica en el cual se aloja la resistencia cerámica que proporcionará el calor suficiente para que la funda el material. Además incorpora un termistor que ejercerá de control de la temperatura y en él se rosca la boquilla (Nozzle).

### 5.3.7. Resistencia de cartucho

Este tipo de resistencia cerámica de cartucho de 12v y 40W, será la encargada de proporcionar el calor necesario en cada caso dependiendo del material que se desee imprimir, es capaz de alcanzar los 300 °C.

### 5.3.8. Termistor

Al igual que ya describió anteriormente para la cama caliente, el termistor detecta la temperatura del hotend. Los termistores son resistencias que modifican su resistencia en función de los cambios de temperatura.

Se caracterizan por sus grados Kelvin o Celsius, se denomina coeficiente térmico, si es positivo (PTC) se incrementará en la resistencia con un aumento de temperatura y los negativos (NTC) disminuirá. Estas especificaciones son suministradas por el fabricante.



Los termistores más usados en impresoras 3D, y en nuestro caso son termistores de 100KOhm en resistencia sensible con NTC de 25 °C. Podemos medir el termistor con un voltímetro que dará una resistencia a temperatura ambiente cercana a 100 KΩ, para verificar que funciona correctamente con tocarlo podemos observar como aumenta la temperatura y consecuentemente disminuye la resistencia.

También existen termopares que aunque sean menos precisos pueden manejar temperaturas más altas y lineales.



Figura 48: Ensamblaje Hotend 3D-V6 Volcano

### 5.3.9. Boquillas (Nozzle)

Se trata de la última pieza que compone el extrusor, y por él se extruye el material. Suele ser de latón de alta calidad para evitar el rozamiento y transmitir bien la temperatura, aunque también existen de aleación de níquel, especialmente para materiales abrasivos como PLA.

En la elección del tipo boquilla tanto en su material como su diámetro se ve reflejada la calidad de impresión, ya que se imprime al 80% del tamaño de la boquilla como máximo.

La rosca de la boquilla esta normalizada a M6 con el fin de poder cambiar de un tamaño a otro según se requiera, o incluso por un atasco que puede ocurrir. Para nuestro Hotend E3D-V6 (Volcano) se comercializa los diámetros de boquilla de 0,4/0,6/0,8/1,0/1,2.



Figura 49: Kit de Volcano con diferentes boquillas

### 5.3.10. Ventilador de capa

El ventilador de capa se coloca sobre el carro de extrusión de la máquina. Suele estar acoplado a una tobera que incrementa la velocidad y orienta el flujo de aire hacia la zona que rodea el orificio de salida del plástico semifundido, esto es, la última capa de material depositado. Esto ayuda a que la última capa de material solidifique más rápido.

En nuestra impresora, se instalará un ventilador de capa acoplado a una tobera impresa en ABS que depositara el aire en la zona deseada.

Voltaje de alimentación: 12 V DC

Corriente de trabajo:	0,06 ± 20% A
Velocidad:	3000 - 500 rpm
Flujo de aire:	15 – 30 CFM
Dimensiones:	50x50x15mm
Ruido:	19 – 25 dB
Vida útil:	40°C → 40000 h
T <sup>º</sup> funcionamiento:	-10 a 60 °C



Figura 50: Ventilador de capa

Tabla 10: Especificaciones técnicas del ventilador de capa

El ventilador será conectado a la placa de control, luego podemos variar sus parámetros al igual que otro componente. Sobre todo es muy recomendable el uso de ventilador de capa cuando imprimimos piezas en PLA, ya que tiene menos poder de adhesión de entre las capas y también es muy recomendable el uso en piezas de gran altura o en voladizo.

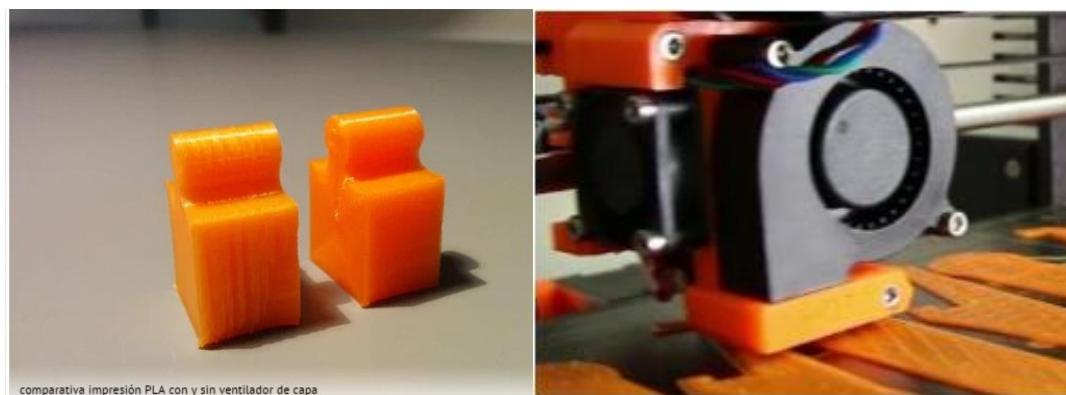


Figura 51: Imagen comparativa de la impresión en PLA sin y con ventilador de capa

### 5.3.11. Sensor inductivo de nivelación

Con el fin de obtener impresiones de calidad es necesario nivelar la altura de la cama caliente respecto a la boquilla de extrusión del material. El espesor de la capa suele ser de 0,3 mm aproximadamente luego una nivelación incorrecta puede causar que las capas no estén niveladas.

Para ellos contamos con la rosca de la boquilla y además de las cuatro fijaciones de la cama caliente en sus cuatro esquinas las cuales darán las alturas de nivelación necesarias. El método tradicional es la colocación de la boquilla del extrusor en cada una de las cuatro esquinas del espejo de la cama y hacer pasar un folio, regularemos la altura con los tornillos hasta conseguir que el folio pueda pasar entre ambos elementos sin tener apenas holgura.

Para facilitar las labores de nivelación y conseguir una nivelación mucho más precisa, se ha instalado en los últimos modelos de impresoras 3D, un sensor inductivo o capacitivo de proximidad.

Este sensor se instala junto al extrusor y va fijado mediante dos tuercas que se fijan en su hendidura, la regulación de la altura se hará mediante el roscado que dispone el sensor. El extremo inferior del sensor debe quedar unos 2 milímetros por encima de la punta del Nozzle y a continuación apretar ambas tuercas para fijarlo bien a su soporte.

El sensor irá conectado mediante los tres cables a la tarjeta controladora, en los pines 'ZMIN' correspondientes a los finales de carrera.

Posteriormente se realizará la conexión a Marlín mediante la placa, y su correspondiente auto nivelación, la cual explicaremos con más detalle en el capítulo 8.

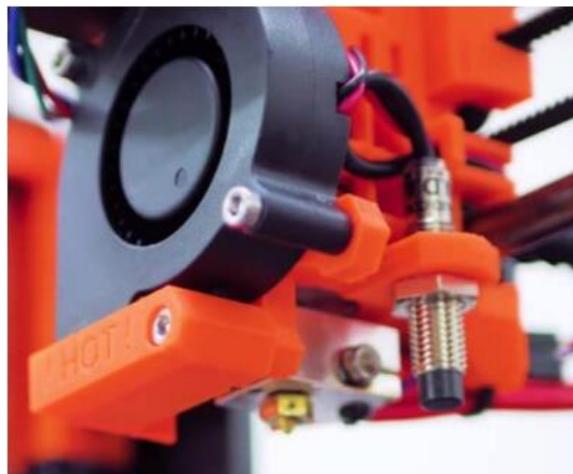


Figura 52: Sensor inductivo de nivelación; Fuente: Prusa

Una vez que disponemos de todos los componentes con ayuda del Manual de montaje proporcionado por la marca realizamos el montaje.

El ensamblaje de los diferentes componentes se realiza con tornillería de Allen y utilizamos dos técnicas de fijación de las tuercas:

1º Una de las técnicas es usar un tipo de tuerca cuadrada que va alojada en una cavidad cuadrada diseñada con las dimensiones de la tuerca con el fin de que el tornillo rosque y la aturda se auto bloquee con las paredes de la cavidad, diseñada para tal fin.

2º Otro de los métodos empleados es el embutir las tuercas, consiste en diseñar la cavidad con el hexágono de las dimensiones de la tuerca. La introducimos en dicho orificio proporcionándole calor con el soldador y se queda totalmente embutida, restringiendo el giro y con ello realizamos el apriete.

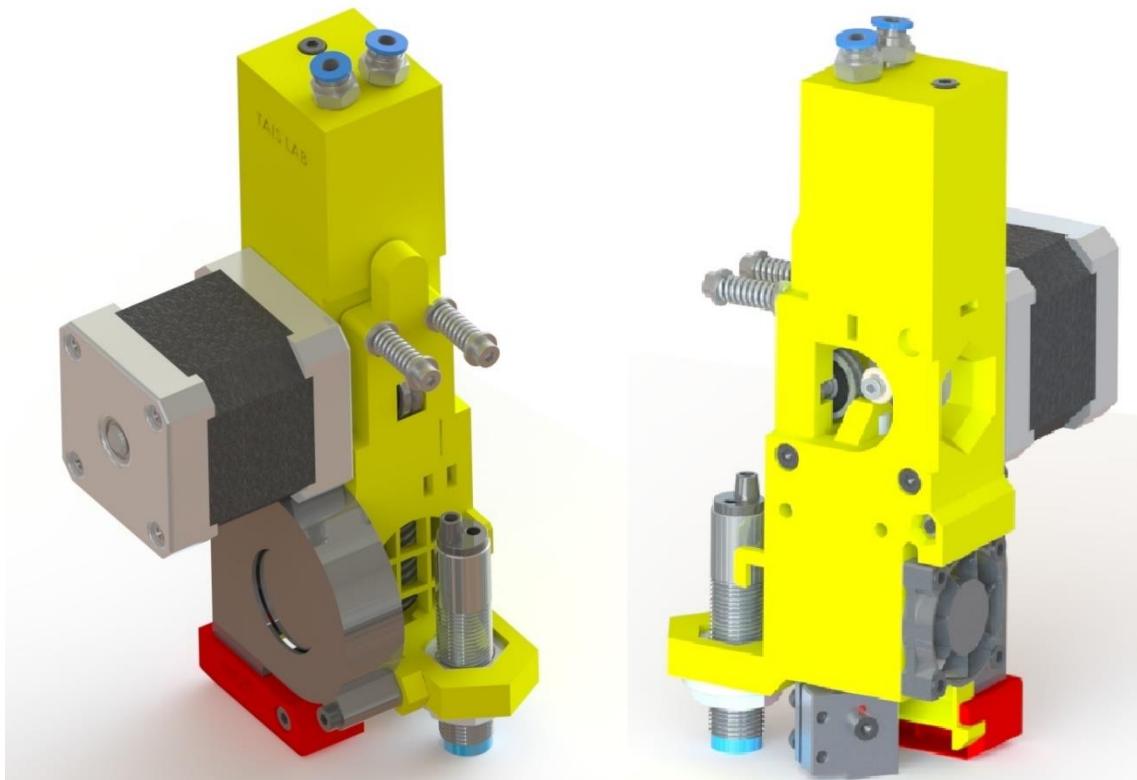


Figura 53: Ensamblaje del extrusor con adaptador multifilamento; Fuente: Elaboración propia con SW

Una vez que tenemos todo el extrusor montado, lo ensamblamos a la impresora a la pieza del carro del eje X.

#### 5.4. Sistema de abastecimiento del material (*bowden*)

Como ya se describió nuestra impresora llevará un sistema de extrusión que lo podemos denominar mixto, ya que incorpora la extrusión directa y además un doble bowden que proporcionará el material necesario a la hora de imprimir un material u otro.

El diseño del bowden consta de un soporte del motor paso a paso, además de la abrazadera diseñada para poder alojarse en el perfil ranurado, también posee una palanca de presión con un rodamiento que garantizara el contacto entre la polea de tracción del motor y el filamento que proviene de la bobina. Estas piezas serán impresas en otra impresora del taller en ABS.

Con el fin de optimizar el recorrido y evitar el rozamiento producido por el filamento a su paso por los diferentes componentes, se instalará una guía de un tubo de teflón (PTFE) que recorrerá desde la salida del bowden hasta la entrada del cuerpo del extrusor. La conexión del tubo al extrusor y bowden se realizan mediante unos adaptadores neumáticos PNEUFIT.

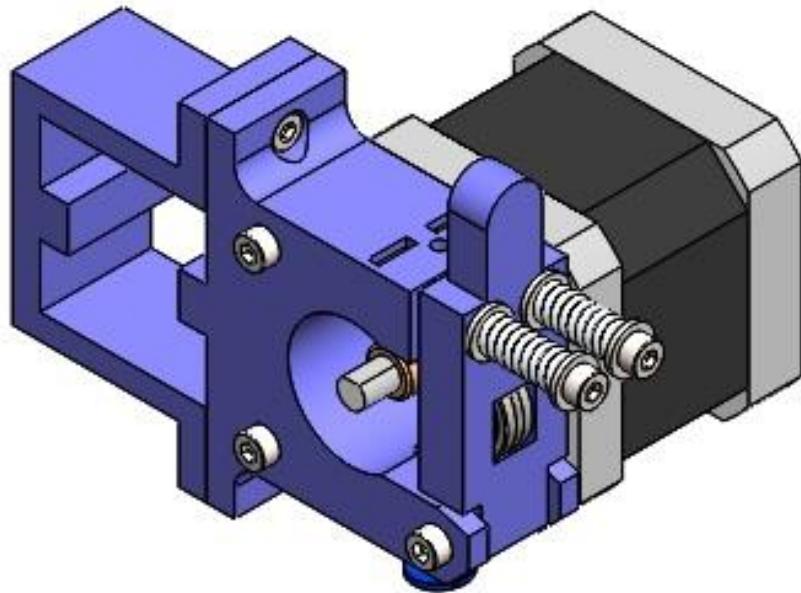


Figura 54: Ensamblaje Bowden; Fuente: Elaboración propia con SW

Una vez montado en la impresora el extrusor y los bowden, damos por finalizada toda la mecánica correspondiente y la impresora quedará lista para imprimir a falta de la instalación electrónica y la configuración del software.

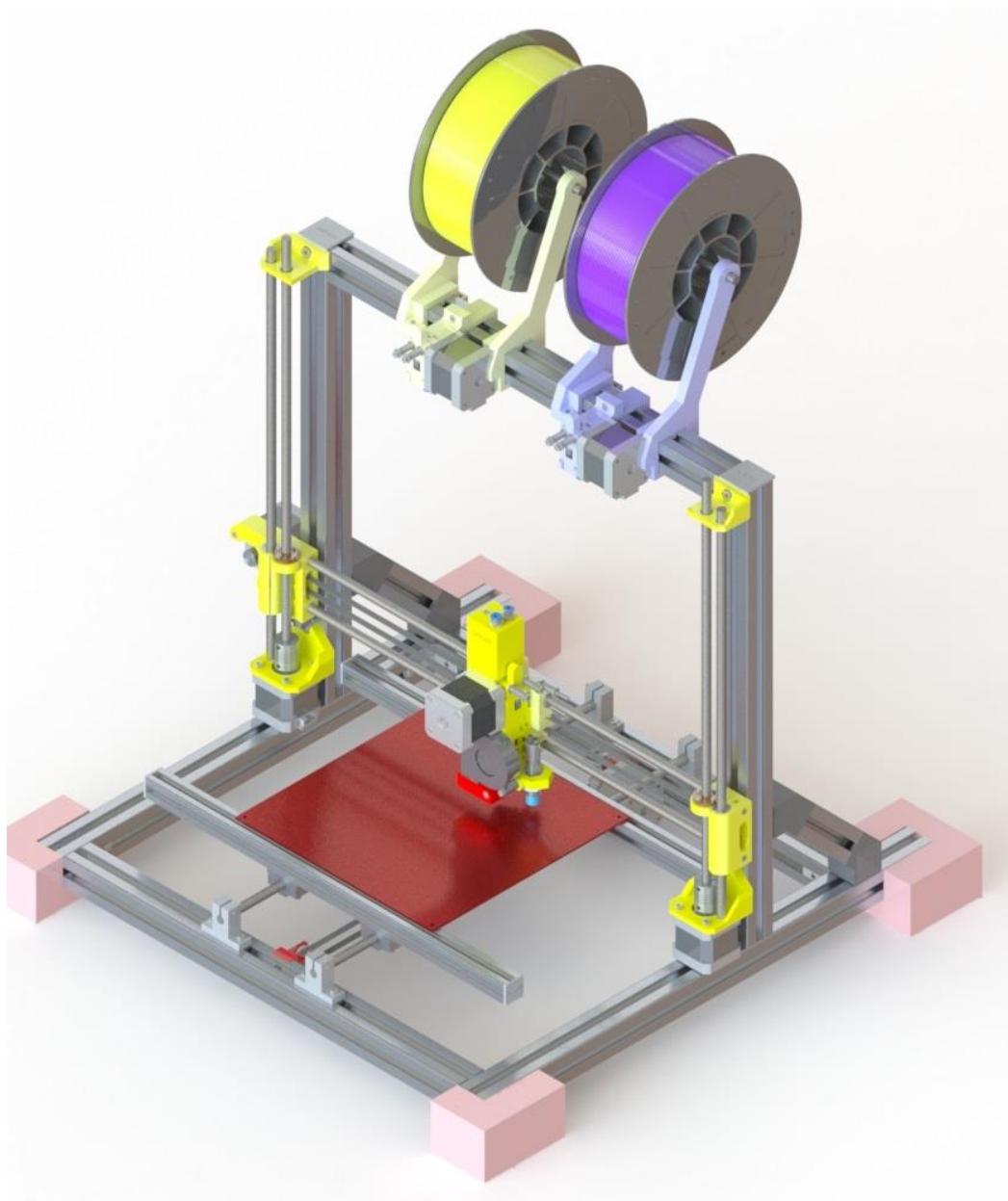


Figura 55: Ensamblaje impresora multmaterial; Fuente: Elaboración propia con SW Render

## 5.5. Conclusiones

Como conclusión se ha realizado el diseño paralelo de los dos sistemas de extrusión multmaterial, analizando sus ventajas e inconvenientes en las conclusiones.

Hasta ahora el sistema más efectivo es el de un único extrusor capaz de combinar ambos materiales. En el siguiente capítulo montaremos los componentes electrónicos con el fin de realizar las pruebas y ver si ambos sistemas funcionan, además de comprobar el sistema más eficiente.

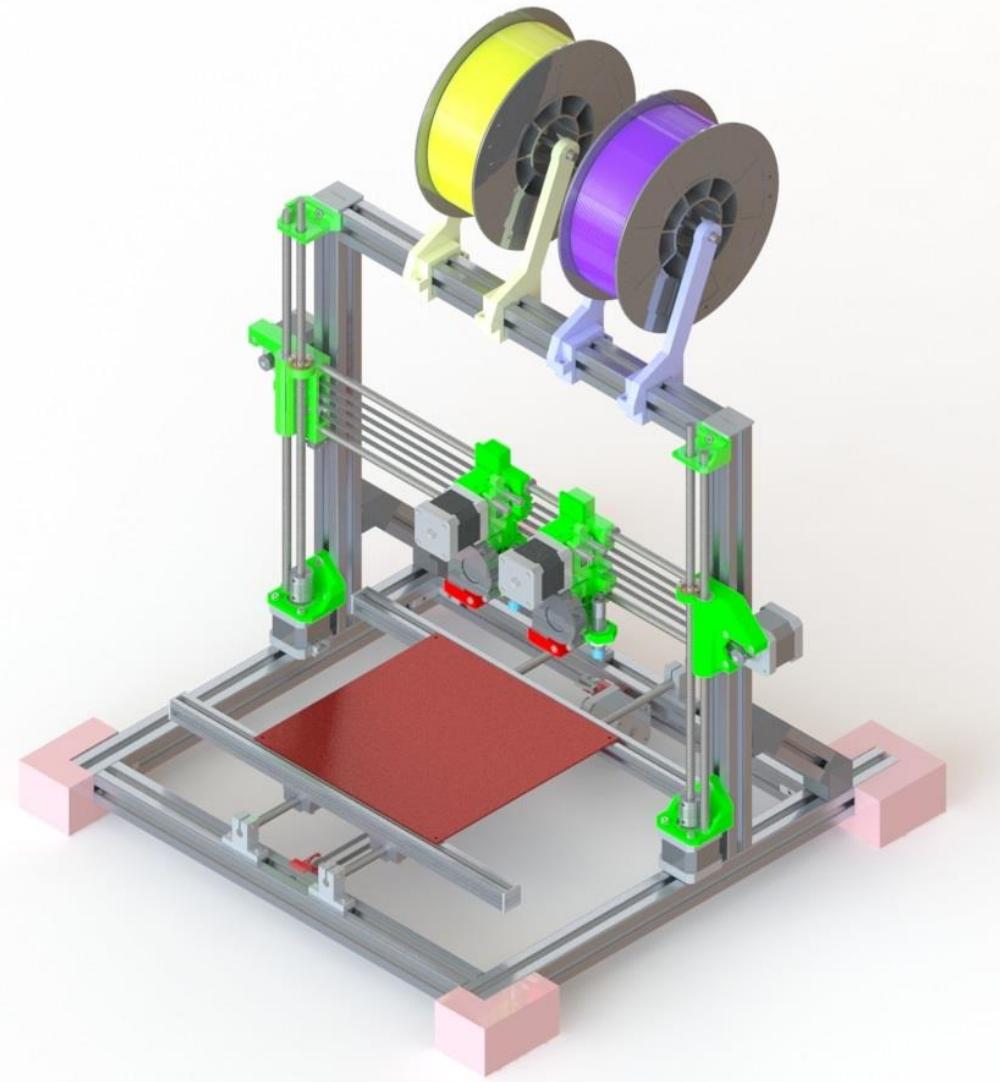


Figura 56 : Ensamblaje impresora multmaterial de doble extrusor; Fuente: Elaboración propia con SW



# CAPÍTULO 6: SISTEMA ELECTRÓNICO

## 6.1. Introducción

En este capítulo se detallaran los componentes que forman el sistema electrónico de control, este sistema se encarga de interactuar con el software de control y el sistema de posicionamiento con el doble extrusor, con lo que ya podremos comenzar las pruebas de funcionamiento. En este apartado se comentará el sistema electrónico, donde pueden diferenciarse tres partes que realizara la controladora, sistema de desplazamientos y velocidad de los motores de los ejes, sistema de control de la extrusión o velocidad de abastecimiento del material y además la temperatura.

Al igual que los materiales de impresión, hotend y otros elementos de la impresión 3D están en continuo desarrollo[13], avanzando a gran rapidez la parte electrónica también se ve sometida a dicha evolución. También se describirá las conexiones entre los distintos elementos que componen el sistema, que en este sistema se encuentra ubicada toda la electrónica en la parte posterior del mueble en una placa de aluminio.

## 6.2. Partes fundamentales del sistema electrónico de control

Para realizar el control de la impresora 3D con doble extrusor, analizaremos los distintos microcontroladores existentes en el mercado y escogiendo el cumpla los requisitos exigidos por el sistema.

<b>RAMPS</b>	Placa de expansión para Arduino Mega basada en los drivers Pololu A4988. Puede controlar hasta 5 drivers y 3 sistemas térmicos independientes. Adicionalmente posee muchos pines de expansión que pueden ser usados para incorporar funciones adicionales, como dos extrusores.
<b>SANGUINOLOLU</b>	Se trata de una electrónica similar a la RAMPS aunque basada en la placa base Sanguino, un clon de Arduino. Es capaz de mover 4 drivers.
<b>GEN 7</b>	Este modelo de electrónica no es comercial pero sus esquemas de montaje se encuentran en internet bajo licencias libres. Está diseñada para controlar 4 drivers, aunque su diseño puede ser modificado para controlar más.
<b>SAV MKI</b>	Se trata de un modelo similar a la Gen 7, aunque diseñado en España. Los esquemas de montaje se encuentran disponibles y su diseño original sólo admite 4 drivers.

Tabla 11: Comparativa de controladoras para impresión 3D

### 6.2.1 Tarjeta controladora

Como centro de control de todo el sistema se utiliza una tarjeta electrónica de control que mediante el software, como los Arduino, entre ellos el Mega 2560, la Mega (ATmega) 1280, etc... Deben ir con un circuito integrado como, por ejemplo, el modelo Ramps 1.4, el elegido para esta impresora es el modelo RUMBA V 1.1 (OPEN SOURCE)[14].

- **Arduino Mega**

Esta tarjeta programable es una placa microcontroladora basada en Atmega1280. Tiene 54 entradas/salidas digitales, 14 de ellas proporcionan salida PWM, 16 entradas digitales, 4 puertos series por hardware (UART), un cristal oscilador de 16MHz, una entrada de corriente, un ICSP, conexión USB, para conectarla a un ordenador y un botón de reset.

La tarjeta Arduino Mega se programa mediante un lenguaje propio basado en el lenguaje de alto nivel Processing.

Además de este, en Arduino es posible utilizar otros lenguajes de programación tales como C, C++ o Java.



Figura 57 : Arduino Mega; Fuente: Arduino

La principal ventaja que ofrece la accesibilidad a la plataforma Arduino y la compatibilidad con distintos programas como Matlab y Simulink. Existe mucha documentación al respecto y firmwares y funciones ya desarrolladas. La siguiente figura muestra la distribución de los pines en la placa.

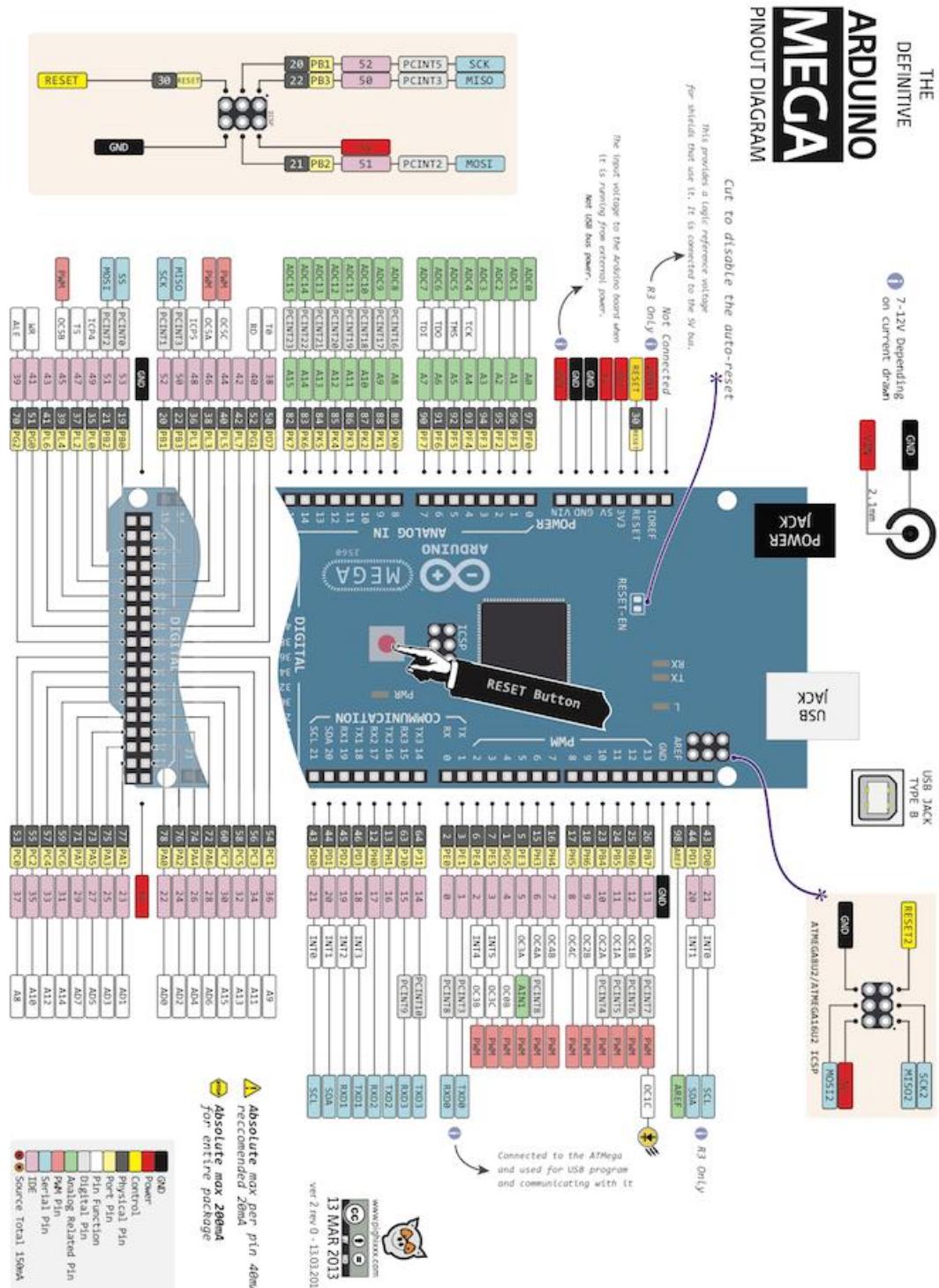


Figura 58: Esquema de conexiones de Arduino Mega; Fuente: Arduino

- **Tarjeta Rumba V 1.1**

Tiene tres partes diferenciadas, la etapa de potencia y control de movimiento de cinco motores paso a paso, la etapa de potencia y control de temperatura de tres resistencias de calentamiento y las entradas de potencia. Además cuenta con entradas y salidas digitales y analógicas auxiliares para el control de otros componentes.

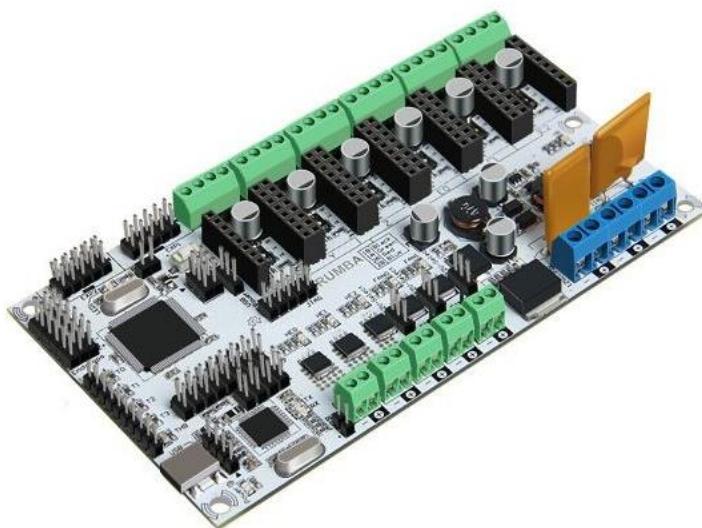


Figura 59: Tarjeta controladora Rumba V1.1; Fuente: RepRap

### **Características:**

- Tamaño: 135mm x 75mm.
- Totalmente integrada todo en uno:
  - Arduino 2560 R3 compatibles (funciona con Sprinter , Repetier-firmware , Marlín fuera de la caja).
  - ATmega16U2 (con firmware mejorado) para la conexión serie USB de alta velocidad (hasta 2 Mbit).
- Entradas y salidas de energía:
  - Se puede utilizar con 12V-35V para motores / cama calentada
  - Reguladores de potencia de alta precisión integrados (CC / CC) para:
  - 12V (FAN / Luz / ...)
  - 5V (Atmega2560 / Lógica)
  - Selector de entrada de energía para ATmega / lógica (independiente o el poder desde USB)
- Fácil instalación de DISPLAY + tarjeta SD.
- Hasta 6 conectores de los motores, con una configuración fácil de micro paso a paso (micro interruptores) que se puede utilizar para:
  - Doble extrusor y doble en Z
- 5 conectores ADC de temperatura de los termistores.

- Salidas MOSFET de potencia capaz de 5 PWM (3 con selector de voltaje que MainPower / 12V), para resistencias de cartucho y ventiladores.
- PWM MOSFET de potencia capaz con zona de enfriamiento prolongado para la cama calentada
- 6 conectores de tope terminal con toma de corriente:
  - Xmin / Xmax / Ymín / Ymáx / Zmín / Zmáx
- Conector USB y conector macho USB (útil cuando se monta en una caja pequeña)
- Alimentación y todos los pines no utilizados disponibles en función de conector EXP-3:
  - + 5V y + 12V
  - 2x ADC
  - 2x PWM I / O
  - 4x I / O
  - I2C
- Ayuda JTAG completa
  - JTAG se puede utilizar durante la operación completa (no pines compartidos)
  - fácil de desarrollar / depuración del firmware nuevo u optimizado el uso de Atmel Studio

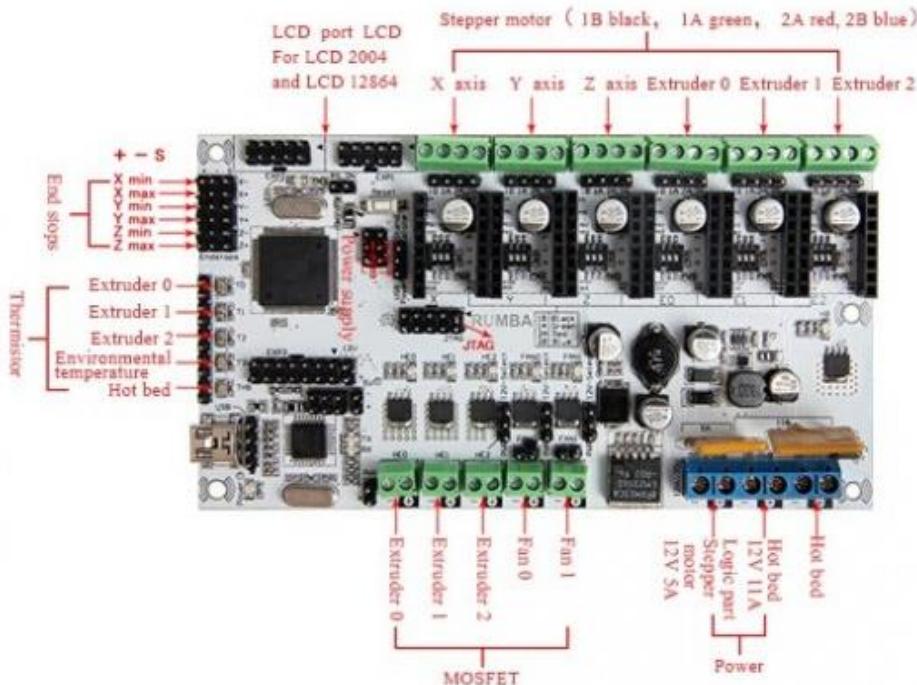


Figura 60: Esquema de conexiones de Rumba V1.1; Fuente: RepRap

A continuación se muestra el esquema de conexiones:

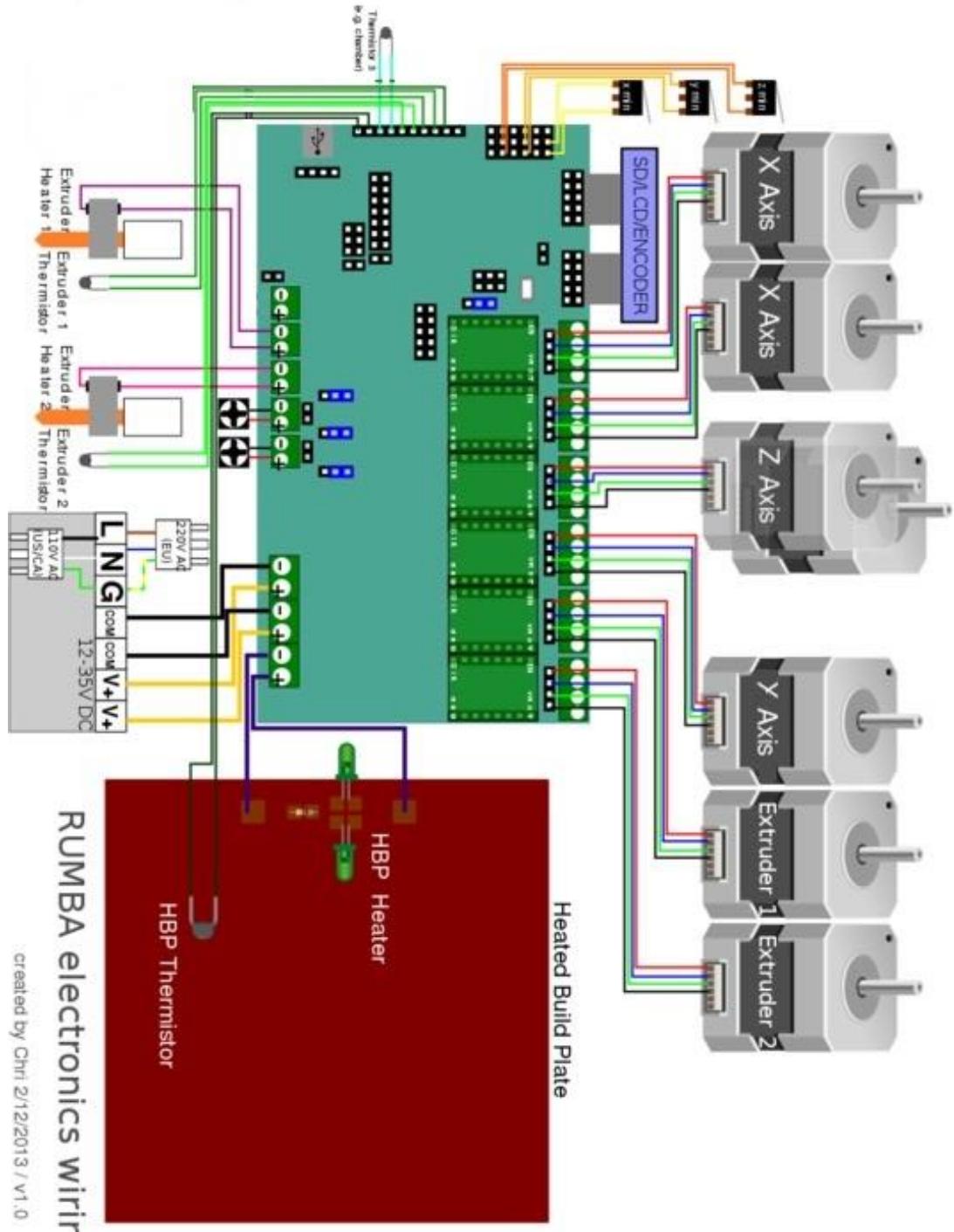


Figura 61: Diagrama de conexiones del Kit de impresora 3D; Fuente: RepRap

### 6.2.2 Controladores de los motores paso a paso

Los drivers son unos circuitos integrados encargados de recibir las señales de control de la placa Arduino y transmitir los impulsos necesarios a los motores paso a paso. El modelo a emplear va a ser el Driver DRV8825, aunque los usuales son A4988 distribuido por Pololu Electronics (OPEN SOURCE). Estos drivers generan los pulsos necesarios para el movimiento de los motores paso a paso, dando la opción de configurarlos en microstepping de 1/2, 1/4, 1/8 Y 1/16 fracciones de pulso. Al driver entran las señales de dirección y los pasos enviados por el software de control. Además, se alimenta a la tensión de trabajo del motor paso a paso.

Este driver es un reemplazo directo del Pololu A4988. Está diseñado para mantener 1.5A de corriente sin necesidad de disipador. Es totalmente compatible, y podemos intercambiarlos en nuestras placas controladoras.

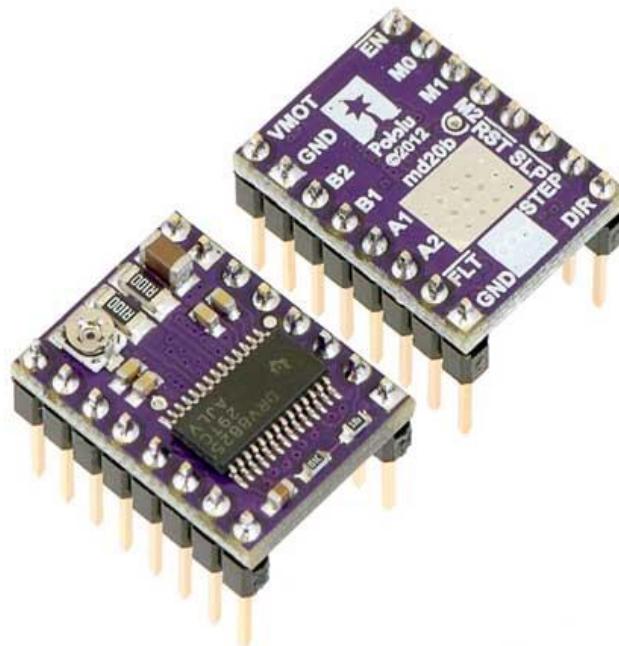


Figura 62: Pololu DRV8825; Fuente: Pololu

Las resistencias de medición son de 0.100 ohmios. Pololu ha decidido usar estas resistencias más altas para poder funcionar mejor cuando el driver funciona con muchos micropasos, y poca corriente.

El voltaje de referencia está calibrado a 0.5V por cada amperio de corriente máxima.

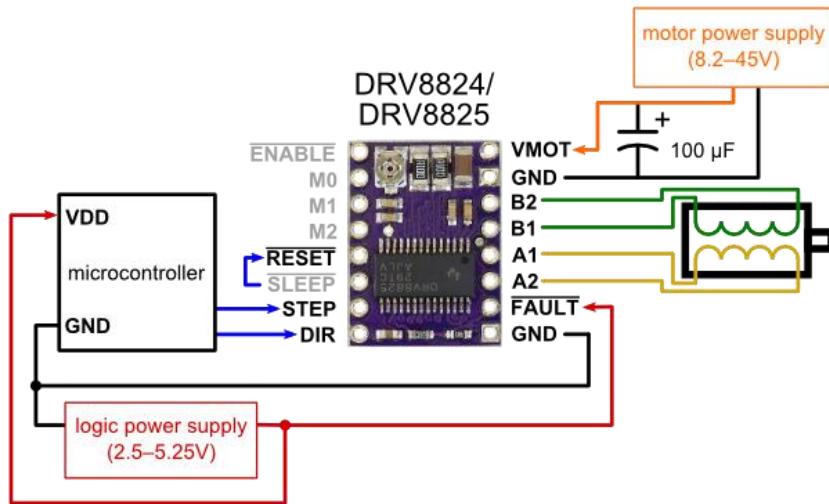


Figura 63: Diagrama electrónico Driver DRV8825; Fuente: Web Pololu

Cómo tienes que conectar el Pololu DRV8825. Nota que el pin FAULT recibe 5V. Este driver ha sufrido algunas revisiones, sobre todo para dar más posibilidades con los pines de SLEEP y FAUL propios del chip. Pero son cambios que sólo afectan a los usuarios más avanzados. Aunque el chip permite 2.5A de potencia máxima, Pololu ha cambiado las resistencias que se usan para medir la corriente. Cuando ponemos el potenciómetro a máxima potencia, el driver de Pololu limita a 2.2A. Para más información consultar la bibliografía recomendada [15].

Cuando configuramos nuestra impresora 3D o nuestra CNC, tenemos que recordar los DRV8825 tienen 32 micropasos, y el a4988 tiene 16 micropasos.

El DRV8825 funciona con 45V, y el a4988 sólo 35V. Así que puedes usar una fuente de 36V para motores más grandes.

Cuidado con el voltaje, aunque el driver soporta más de 12V, tienes que saber que el Arduino no aguanta esos voltajes.

Por ejemplo, si usas la RAMPS 1.4 con un Arduino, tienes que hacer algunas adaptaciones para no quemar el regulador de voltaje del Arduino Mega 2560.

El DRV8825 puede manejar 1.5A sin necesidad de un disipador adicional. El A4988 sólo llega a los 1.2 A. Los tiempos de las señales son ligeramente distintos. Los DRV8825 necesitan un tiempo mínimo de pulso de  $1.9\mu s$  y el A4988 de  $1\mu s$ . Esto puede afectar a la velocidad máxima a la que puedes mover el driver, ya que tienes que esperar a que el driver detecte el pulso el doble de tiempo.

Los textos de las bobinas son distintas. Uno identifica a la bobina como A/B y el otro como 1/2. Así que tenemos que el DRV8825 pone A2 A1 B1 B2, y el A4988 pone 1B 1A 2A 2B. Repásalo y verás que es lo mismo.

Esto es ya muy técnico. El pin para alimentar la parte digital del A4988, se usa como salida FAULT en el DRV8825.

Pero si el pin FAULT es una salida, y nosotros le damos voltaje, ¿se quemará? No hay problema porque hay unas resistencias para proteger el chip.



### ➤ ¿Los drivers A4988 y los DRV8825 son compatibles?

Esta es una pregunta típica. Suelen preguntarme si la RAMPS 1.4 SB es compatible con los drivers DRV8825. Si, los drivers son compatibles, y puedes intercambiarlos sin problema. Puedes usar la RAMPS 1.4 con drivers A4988 y con los DRV8825.

Pero hay que tener una serie de recomendaciones.

**Advertencia:** En general, el potenciómetro de los a4988 y el potenciómetro del DRV8825 van en lados opuestos.

Es fácil que usemos este potenciómetro de referencia, y si cambiamos de modelo, o usamos una fotografía de ejemplo, vamos a conectar **el driver al revés**.

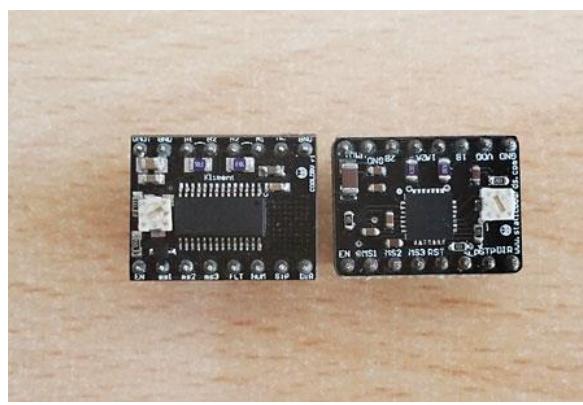


Figura 64: Potenciómetro en ambos controladores; Fuente: Web Pololu

Como se puede apreciar van en lados opuestos.(Es la forma más común para destruir para siempre el driver).

A nivel configuración, sólo existe una diferencia: los micropasos.

Cuando tenemos configurado el a4988 para 16 micropasos (*lo normal, con los 3 jumpers activados*), tienes que recordar que el DRV8825 funciona con 32 micropasos.

Así que tendremos que cambiar nuestra configuración en el GRBL, o en el Marlín, y duplicar los pasos por milímetro. Es un cambio de software. Todo lo demás, es exactamente igual. Plug and play.

En el siguiente capítulo se comentara como calibrar los drivers de los motores.

### 6.2.3 Jumpers

Los jumpers son unos elementos que nos permiten unir dos pads de un circuito integrado cuando no se puede hacer la unión con una pista, o cuando su unión es, como en esta ocasión, una cuestión de calibrado. Con los jumpers podemos calibrar la precisión del control de movimiento sobre los motores.

En la imagen de la figura se puede ver dónde van colocados en la placa Ramps, que sería justo debajo de la posición en la que posteriormente se instalarían los drivers de control de cada motor (los Pololus).

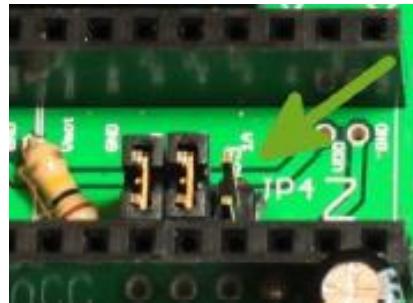


Figura 65: Instalación Jumpers en la placa

En esta figura vemos cómo ya se han colocado dos de los tres jumpers que hay que colocar, el tercero iría en la posición señalada por la flecha, para conseguir una configuración de 1/16, lo que significa que cada paso del motor paso a paso, cuyo movimiento controlamos, se puede dividir en 16 “micropasos”, consiguiendo así mayor precisión en el control de movimiento del motor; pudiendo así hacer movimientos más pequeños con gran precisión.

### 6.2.4 Mosfet

El último elemento característico de las placas electrónicas, escojamos la opción que escojamos, son los mosfet. Las siglas MOSFET significan Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, es decir, Transistor de Efecto de Campo Metal Óxido Semiconducto. Se llaman así porque en la patilla gate o puerta, a través de la cual controlamos el paso de corriente de la patilla source o fuente a la patilla drain o drenador (también podemos verlo como “sumidero”), está conectada a un metal, separado del semiconductor por un óxido. Funcionando de forma similar a un condensador, de tal forma que permite polarizar el transistor, hacer que funcione, pero no consume energía por la puerta; es decir, que no hay corriente pero si tensión. Esto quiere decir que controlaremos el paso de corriente mediante aplicaciones de tensión; de esta forma, en modo estático, o reposo, el transistor apenas consumirá energía pues el valor de la corriente será del orden de nanoamperios

En nuestro circuito tendremos tres mosfet de canal N, esto significa que la tensión a aplicar en la patilla puerta, para que pase corriente de la fuente al drenador, debe ser positiva. Si fueran canal P serían similares pero la tensión aplicada debería ser negativa.

Se utilizan dos de esos tres mosfet para controlar el calentamiento de la base, heated bed, y de los hot-end. El tercer mosfet se usa para controlar el funcionamiento de un ventilador.



Para el calentamiento de la base, a 130 °C, que es la temperatura de trabajo al imprimir con ABS, necesitaremos un suministro de unos 11 A.

Para calentar el hot-end, a 225/230 °C que es la temperatura para extruir el ABS, necesitamos una alimentación de unos 2,5 A. Estos valores de corriente serán los que determinen, si un mosfet es apropiado o no para nuestra electrónica; por eso debemos tener cuidado y asegurarnos de que compramos los componentes correctos.

Sin embargo, no es ese el único parámetro característico para determinar si el mosfet es apropiado o no, porque, por ejemplo, algunos proveedores nos venden con la electrónica el modelo P30N06LE, y, sin embargo, el modelo recomendado para la impresora sería el STP55NF06L. Según sus hojas de características, ambos soportan una corriente de hasta 60 amperios, sin embargo tienen dos diferencias importantes.

La primera es la tensión de activación, el modelo P30N06LE se activa con 3 V, y el modelo STP55NF06L se activa con 5 V; y, nuestra electrónica emplea una tensión de 5 V para activarlos. Aun así, la hoja de características del modelo P30N06LE nos dice que aguanta valores comprendidos entre -8 y 10 V, luego no debería de ser un problema.

La segunda diferencia, probablemente la más importante, es que el parámetro  $R_{dson}$  es diferente en ambos; siendo de 0,047 Ω para el modelo P30N06LE y 0,018 Ω para el modelo STP55NF06L. Este parámetro determina la duración de los períodos de carga y descarga del mosfet; siendo el modelo con menor valor de  $R_{dson}$  el que se carga y se descarga más rápido. El problema es que en estos períodos de carga y descarga es donde más se calientan los mosfet por eso interesa que sean lo más rápidos posibles.

Si bien es cierto que, alcanzada la temperatura de trabajo, el mosfet actúa como un termostato, encendiéndose y apagándose cada poco tiempo, los usuarios de una electrónica con el modelo P30N06LE tardan mucho más en alcanzar la temperatura de trabajo y han tenido más problemas de calentamiento de los mismos que los que usamos el modelo STP55NF06L.

El termistor modelo STP55NF06L es el mostrado en la figura.

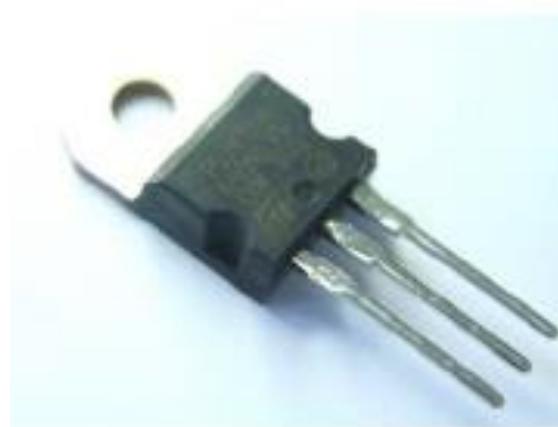


Figura 66: Termistor

### 6.2.5 Sistemas de posicionamiento (Nema 17)

Para el control de movimiento del sistema de empuje/alimentación de material y desplazamientos del sistema de posición se utilizan motores paso a paso de tamaño reducido. En concreto se han utilizado el motor paso a paso Nema 17.

Los motores paso a paso Nema 17, existen de diferentes pares, son motores bipolares de control por medio de pulsos. Puesto que en esta ocasión el control se realiza en velocidad y no en posición, una posible pérdida de pulsos no implicaría un fallo demasiado notable en el control. En cuanto al par, necesitamos motores de 0,137 N·m (13,7 N·cm), como mínimo, para los motores que gobiernan el movimiento de los tres ejes (X, Y, Z), y un motor de 0,4 N·m (40 N·cm), como mínimo, para cada motor que desplaza el hilo de plástico a través del extrusor y lo empuja para ser extruido en caliente.

Por otro lado está la alimentación de los motores. Los controladores Pololu, drivers de los motores (ya comentados), utilizan un modo de control a corriente constante, de modo que la fuerza que hace el motor depende de la corriente, y no de la tensión, de alimentación. Los valores de tensión y corriente que da el fabricante te permiten conocer los parámetros máximos del motor. Así pues, si operas a esa tensión y a esa corriente nominal, el motor dará el par nominal y su vida útil será larga; por el contrario, si lo alimentamos a más de eso se sobrecalentará y durará menos tiempo.

Que un motor de 2.5A se controle a 250 mA hace que este entregue un par muy inferior a su par máximo, pero que en nuestro caso suele resultar más que suficiente para una operación correcta de la impresora 3D. En el control a corriente constante, la resistencia del devanado es importante, así los motores se suelen controlar con una alimentación varias veces superior a la tensión nominal del motor para poder conseguir mejores prestaciones; sin por ello comprometer la salud del motor. Luego, si el motor es de 12V y el control trabaja a 12V no se podrá conseguir tan buen rendimiento como si, por ejemplo, el motor es de 3.1V a 12V; ya que, en ese caso, es cuatro veces la tensión nominal.

Conocidos estos conceptos se puede establecer que los motores de 3,1 V/2,5 A son muy apropiados para la construcción de la impresora 3D.

TIPO DE MOTOR	PASO A PASO BIPOLAR
Angulo de paso	1,8º
Par	40 N/m
Intensidad / fase	0,4 A
Resistencia / fase	30 Ω
Voltaje	12 v
Inductancia	58 mH ± 20 % (1KHz)
Peso	240 g



Figura 67: Motor Nema 17

Tabla 12: Características técnicas del Motor Nema 17

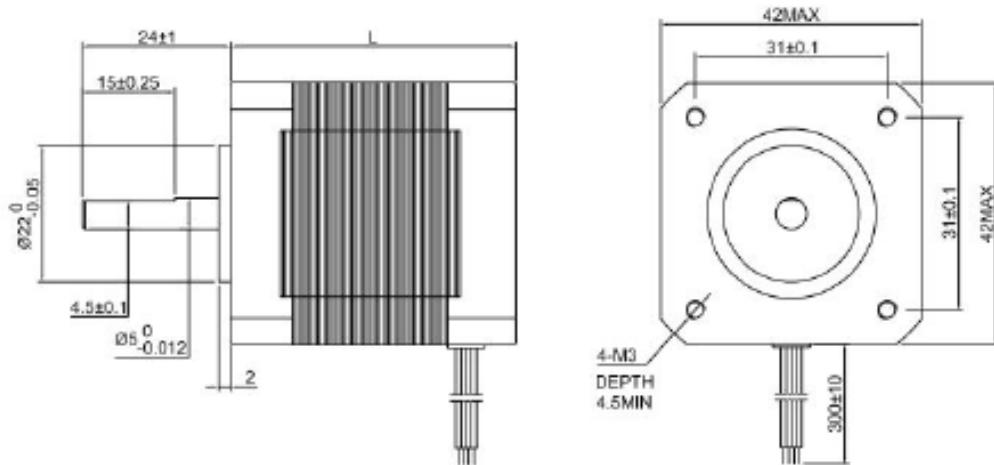


Figura 68: Nema 17 Acotado

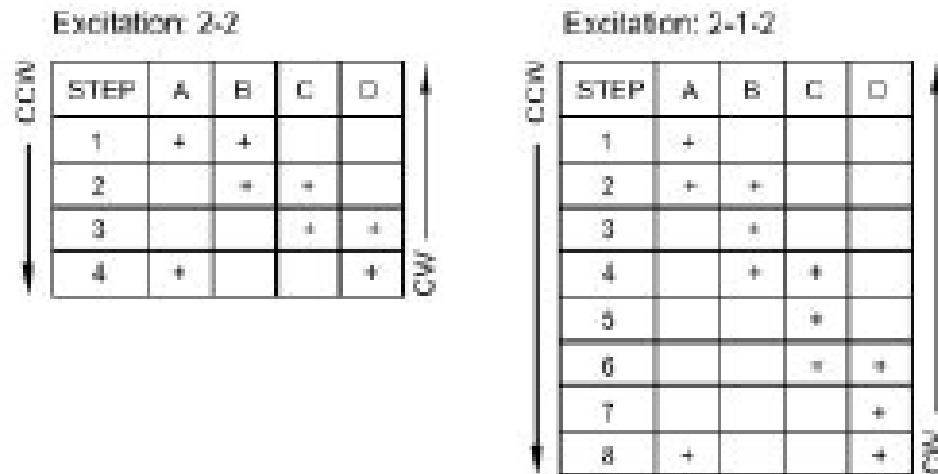


Figura 69: Esquema de excitación



## 6.2.6 Sistema del control de temperatura

El control de temperatura es una de las partes fundamentales del diseño del doble extrusor multifilamento. Ya que para que la extrusión sea llevada a cabo, la temperatura debe ser controlada con una precisión aceptable, se usan dispositivos conectados a la tarjeta controladora capaces de emitir calor, como la resistencia de calentamiento o la cama calentadora, y sensores de temperatura capaces de recoger la temperatura a la que se encuentra el cuerpo, como los termistores.

- **Resistencia de cartucho de calentamiento**

La resistencia de calentamiento genera calor cuando se le aplica una tensión determinada en sus bornes. Debido al efecto Joule, al aplicar los 12V de tensión generada por la placa, la resistencia provoca una transferencia de temperatura al ambiente o al cuerpo con el que permanece en contacto.

Las bornes de la misma están recubiertas de material aislante, que reduce la transmisión de calor por el cable

- **Cama caliente**

La cama caliente es la plataforma donde se realizan las impresiones de las piezas. Para evitar que se produzcan despegues de la pieza que deforman la misma, se utilizan superficies capaces de trabajar a una temperatura de 100 °C. De esta forma se mantiene la pieza imprimida a una temperatura intermedia entre la temperatura de fusión y la temperatura ambiente, quedando adherida a la base. Para este proyecto se utiliza una cama calentadora PCB Heatbed MK2.

La cama calentadora PCB Heatbed MK2 cuenta con una resistencia interna de 1.5.0, que proporciona calor al aplicarse una tensión de 12V, pudiéndose controlar mediante la tarjeta controladora. Internamente es un circuito eléctrico que se enrolla encapsulado en una placa de baquelita.

- **Termistores**

Los termistores son sensores resitivos de temperatura. Varían la resistividad del semiconductor en función de la temperatura, por lo que a una tensión de trabajo determinada se pueden obtener los valores de temperatura del sensor en cada momento.

Los termistores utilizados son los EPCOS IOOK Thermistor, encapsulado tipo perla. Mediante una tabla de comportamiento del termistor introducida en el software se podrá medir la temperatura aproximada del bloque calentador y de la cama calentadora en cada instante.

Se han utilizado dos termistores del mismo tipo. Uno para el bloque calentador y otro para la cama calentadora. Son dispositivos necesarios para el control en bucle cerrado de las consignas de temperatura.



### 6.2.7 Final de carrera

Los sensores finales de carrera o también conocidos como sensores de contacto o interruptor límite, existen tanto ópticos como mecánicos, los usados en este caso.

Presentan algunas ventajas los sensores mecánico frente a los ópticos, ya que son más baratos, no hay necesidad de PCB opto. Aunque también tiene un vida finita más delimitada que los sensores ópticos.

Se encuentran situados al final del recorrido de cada eje con el fin de mandar la información del contacto cuando el desplazamiento de cada eje se encuentra en el extremo límite y consecuentemente se parara invirtiendo el sentido de la marcha.

Internamente están compuesto por tres pines o polaridades que son normalmente abierto (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

### 6.2.8 Fuente de alimentación e interruptor de control de potencia

De este dispositivo, que no es crítico el modelo en concreto, pero sí que debe darnos una salida con 12 V DC y unos 16 A en la misma, pues necesitamos entre 11 y 12 amperios para la base, 2,5 A para el hot-end y, aproximadamente unos 250 mA por motor para el movimiento de los ejes y del filamento de plástico por el extrusor. Esto significa que nuestra fuente debe ser, como mínimo, de 200 W, en mi caso la fuente es de 500 W, ya que no encontré una fuente de menor potencia, y todo el funcionamiento es correcto.

### 6.2.9 Distribución de los componentes y conexiones

Una vez que tenemos todos los componentes instalados en la impresora como los motores, ventiladores, termistores, etc...

La electrónica se ha instalado en una placa de aluminio de 400 x 400 mm, que a su vez se fija sobre dos listones de abeto de 43 x 27 mm con unos tornillos tirañodos para madera en la parte posterior del mueble diseñado para la impresora.

Los cables llevan unas clemas o conectores macho-hembra donde se crimpar los cables con los pines. Es muy importante respetar el orden o fijarse en los colores para luego conectarse en la placa controladora. La manguera de los cables lleva una funda de nailon para protegerlos y al final del conector se coloca funda termoretractil que con calor se comprime ofreciendo rigidez a la conexión. Las mangueras van por interior de canaleta de plástico ranurado y se dirige a la zona de conexión, protegiéndose y recogiendo las mangueras de todo el cableado.

Las mangueras llevarán en su interior los siguientes cables:

- 7 Cables de 4 pines con conectores macho embrado para motores.
- 7 Cables de 2 pines con faston para final de carrera y termistores.
- 2 Cable de conexión para las dos resistencias de cartucho de los extrusores.
- 2 Cable de conexión para los dos ventiladores de los extrusores.
- 2 Cable de conexión para los dos ventiladores de capa de los extrusores.
- Además conectaremos la pantalla Lcd y la cama caliente.

Con la placa controladora y la fuente de alimentación, que le suministra la corriente de la red, además lleva un carril Din con un interruptor que recibe y protege la entrada del suministro de corriente eléctrica, se realizará las conexiones con las mangueras de los cables que se han construido de una longitud de 2 m aproximadamente para poder llegar sin problema hasta la placa pasando por las canalizaciones.

Como líneas futuras se instalará una placa *raspberry* para poder incorporar una cámara e interactuar con el usuario mediante red wifi, además se cerrará con caja de plástico para proteger la instalación electrónica de factores perjudiciales.

### 6.3. Conclusiones

Una vez detallados los componentes del sistema electrónico de control se puede llegar a una serie de conclusiones.

La tarjeta de control escogida es un montaje de dos tarjetas que incorpora el control de entradas/salidas necesarias para la ejecución de la actuación y sensorización del sistema físico.

Además, Arduino Mega es un sistema de fácil interpretación y programación, lo que simplifica notablemente la interacción entre componentes.

Los motores que se han utilizado son motores paso a paso muy robustos y ajustados al trabajo de fuerzas y velocidades que tienen que realizar.

Como ya se ha comentado anteriormente la fuente de alimentación escogida para nuestra impresora es de 12 V.

En la siguiente imagen se puede apreciar la instalación de la electrónica de la impresora en la parte trasera del mueble.



Figura 70: Placa con montaje de la electrónica; Fuente: Tals Lab



# CAPÍTULO 7: SOFTWARE DE CONTROL

## 7.1. Introducción

En este capítulo se van a desarrollar las partes más importantes del software de control que se ha realizado para el uso del doble extrusor, una vez que se finalizó el ensamblado de la impresora y su electrónica.

Para ello debemos cargarle al microcontrolador de la impresora el firmware, con la configuración adecuada y además deberemos instalarlo desde el ordenador, desde el que vayamos a controlar la máquina.

Como ya se comentó anteriormente la idea inicial de conseguir una impresora con un único extrusor resulta inviable desde aquí en adelante en este proyecto, ya que el software de control que controla la máquina no funciona correctamente.

Por ello se tomó la alternativa de la construcción de una impresora con doble extrusor, pero independientes, es decir, con doble carro del eje x. Este sistema si dispone de un software que controla el sistema y funciona correctamente, descargable en la web [16]. Y toda la información correspondiente al sistema de multiextrusor independiente se encuentra en la comunidad RepRap [17].

Además se instalará un programa que se encargue de generar lo que se denomina “capeado” es decir, que transforme los diseños 3D, archivos .STL que vayamos a imprimir a un formato que represente ese diseño por capas para que pueda ser creado por la impresora. Ese formato se denomina código G, más conocido como Gcode.

Por último se comentara brevemente el software de diseño empleado para la realización de este proyecto.

En las conclusiones se analizaran algunas de las ventajas y desventajas de un sistema frente a otro.

## 7.2. Interfaz de usuario (host y comunicaciones)

Existen varios firmwares de los que podemos instalar en el microcontrolador de nuestra impresora, en nuestro caso nos decantamos por el firmware Marlin, se puede descargar en el enlace de la comunidad GitHub, presentando ahora el nuevo Marlin 1.1.0.[18]

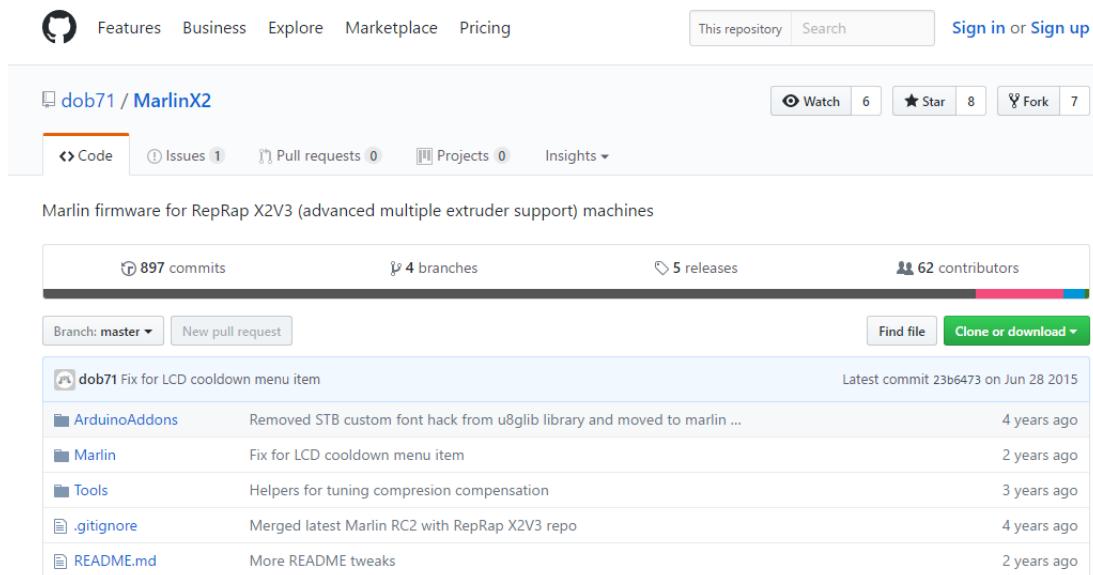


Figura 71: Pantalla de descarga del Marlin de la comunidad GitHub

Se abrirá el programa Arduino 1.0.5-r2 que instalamos anteriormente.

Como se observa en la siguiente figura 125, se han abierto una serie de pestañas. Cada una de ellas corresponde a un archivo guardado en la carpeta Marlin, dependientes del archivo Marlin principal. Como se puede ver, se trata de archivos de código de programación. Para personalizar al gusto nuestra impresora es posible que tengamos que modificar inputs de la pestaña configuration.h.

A continuación, se irá a la pestaña herramientas, tarjeta y se seleccionará la tarjeta que se esté usando, en este caso MEGA 2560.

Posteriormente, en la misma pestaña de herramientas, se irá a puerto y se seleccionará el puerto en el que esté insertado el USB. Normalmente, COM3.

Una vez hecho esto, hemos de verificar el código de programación, como indica la siguiente figura. El botón de verificar está situado en la parte superior izquierda, se reconocerá ya que tiene un logo "tick" de corrección. Al su lado, está el botón de subir, marcado con una flecha.

Si el código está bien, no saltará ningún tipo de error. En caso contrario, en la parte inferior aparecería un error de color naranja sobre el fondo negro.

Una vez comprobado que el código funciona correctamente, se procederá a subirlo al Arduino. El botón de subida está justo al lado del de verificar.

Cuando cliquemos en subida, los leds de la Ramps y de la Arduino empezarán a parpadear en color azul. Esto quiere decir que están recibiendo datos.



Cuando haya terminado el programa nos lo indicará con un mensaje en el cuadro inferior negro.

Si por algún motivo se han de cambiar algunas configuraciones en la pestaña configuration.h, estos funcionan del siguiente modo:

En gris claro se verá una explicación de lo que se realiza en el siguiente #define marcado en negro.

Es importante verificar todos los puntos #define del código Marlin. Se ha de asegurar que estos coinciden con las especificaciones y componentes de nuestra impresora. Por ejemplo, en Marlin está puesto por defecto la placa MEGA 2560, pero puede ser que el lector use otra y como en el Marlin está configurado así, el Arduino no funcionará.

En mi caso, tuve que activar el LCD, cambié el volumen de impresión después de realizar homing y la velocidad de viaje del extrusor. Si se indaga un poco en la red, se verán experiencias de otros usuarios donde muestran su código y las mejoras que hayan podido implantar.

Además el interfaz de interactuar con la impresora es mediante el ordenador y la conexión USB, pero además la controladora tiene el control remoto de la maquina mediante una pantalla LCD, con un botón para poder seleccionar el menú la opción deseada. Se recomienda la impresión de una carcasa para ensamblar la pantalla.

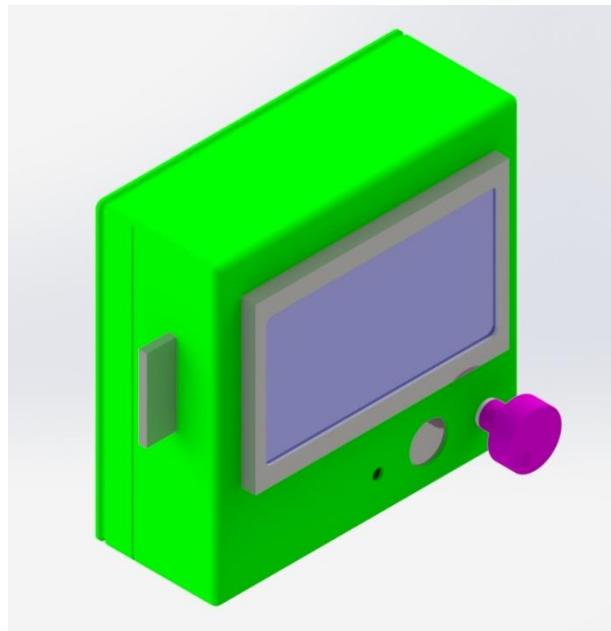


Figura 72: Ensamblaje LCD y Carcasa; Fuente: Elaboración propia SW

### 7.3. Cura

Para poder imprimir piezas es necesario instalar un software que lamine o capee el archivo .STL y lo convierta a Gcode, lenguaje que lee la impresora.

Cura es un programa para laminar un objeto modelado en 3D, Cura es un software muy utilizado por la comunidad maker, en siguiente enlace se puede descargar [19].

Es un laminador creado por Ultimaker destinado a las máquinas de impresión 3D que fabrica. Este software ofrece una configuración relativamente simple y en comparación con el software Slic3r, en base a la experiencia generada en la realización de este proyecto, realiza una mejor laminación. Es decir cuando la impresora imprime una capa puede utilizar múltiples secuencias de trayectorias para cubrir toda la superficie necesaria para fabricar capa a capa la pieza deseada. El software Cura genera las trayectorias de manera que el movimiento del cabezal es progresivo realizando un número inferior de movimientos en vacío volviendo a llenar puntos en zonas que ya han sido cubiertas de material.

En la instalación seleccionaremos la opción de “Ultimaker Original Dual extrusión”, que se trata del tipo de máquina que vamos a configurar, en nuestro caso sería las dimensiones de la Prusa i3 Mk2 de doble extrusor, con tamaño de la boquilla de 0,4 y las dimensiones de la cama caliente que se haya instalado.

En las preferencias del programa cambiaremos los parámetros y seleccionaremos los que se ajusten a nuestra impresora, además de los parámetros de impresión con el fin de optimizar el rendimiento de la máquina. Algunos de estos parámetros más comunes son:

#### Entorno de Programa

Cuando iniciamos CURA, si ya hemos rellenado los parámetros básicos del asistente de configuración, nos va a aparecer la siguiente pantalla.

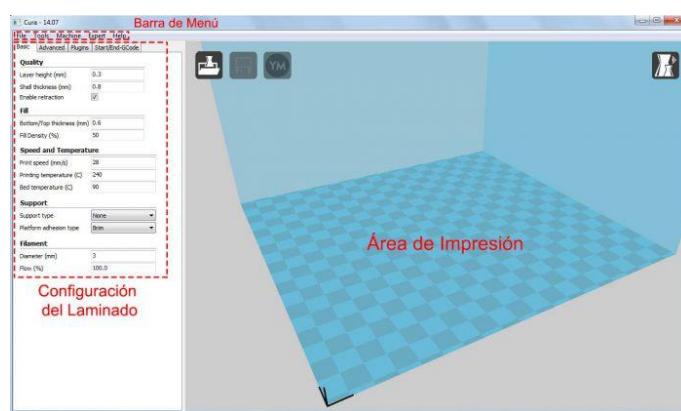


Figura 73: Ventana de entorno software Cura

Si lo que os aparece en pantalla no se corresponde con la imagen anterior, aseguraos que estáis trabajando con CURA en el modo "full settings" , para ello id a la barra de herramientas "Expert" y seleccionar la opción "Switch to full settings". El programa está estructurado en 3 partes, el área de impresión, configuración de los parámetros de laminado y barra de herramientas. En la imagen superior podéis ver cada una de estas partes de manera detallada.

## Área de impresión

El área de impresión es una representación tridimensional del volumen de impresión de la impresora. Este es el espacio con el que contamos para imprimir y no podremos exceder sus límites, ya que quedarían fuera de los límites de impresión reales de nuestra máquina.

En esta área nos encontraremos las herramientas necesarias para cargar las figuras que queramos imprimir, modificarlas y visualizar las diferentes capas.

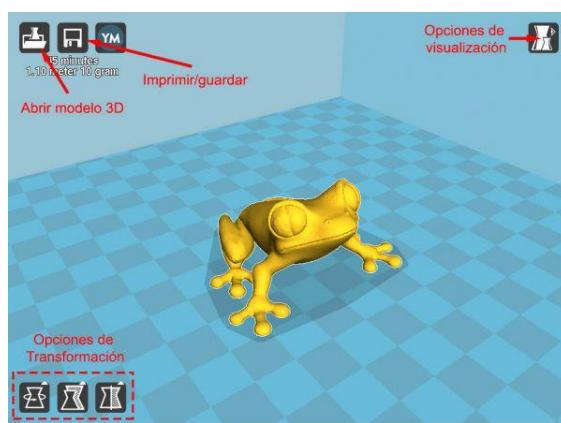


Figura 74: Área de impresión Cura

Load: Carga el modelo 3D que queramos imprimir. También se puede cargar arrastrando el archivo del modelo dentro del área de impresión.

Print With USB: Inicia la conexión con la impresora y abre el panel de impresión (si la impresora no está conectada, el ícono será diferente y pondrá "save toolpath", que guardará el proyecto en un archivo Gcode imprimible desde la tarjeta SD de la impresora)

Share on YouMagine: Con esta opción podrás compartir tus diseños en "YouMagine", una comunidad con un gran repositorio de diseños 3D donde usuarios de todo el mundo suben sus creaciones.

View Mode: El ícono view mode es un ícono desplegable que ofrece 5 tipos de vistas diferentes del objeto que tengamos en el área de impresión. Podemos intercambiar las vistas para ver con detalle algunos elementos de la figura.

- Normal: Muestra la figura como un sólido, permitiendo ver el resultado final de la pieza impresa
- Overhang: Esta vista realza las zonas que tienen un ángulo superior al ángulo máximo que tengamos configurado. Esto es muy útil para ver que zonas pueden ser problemáticas a la hora de imprimir y determinar si necesitan soporte o no.
- Transparent: Hace que la figura sea transparente permitiendo ver a través de ella.
- X-Ray: Esta vista, además de permitir ver a través del objeto, mostrará cavidades o elementos internos a las propias piezas.
- Layers: De todas las vistas esta es quizás la más útil, ya que podemos ver el diseño por capas, esto nos permite ver cómo actuará realmente la impresora a la hora de imprimir y si hay alguna zona en la que el laminado de la pieza sea complejo o simplemente no lo haga como nosotros queremos.

Opciones de transformación: en la parte interior izquierda del área de impresión, podemos encontrar varias opciones que nos permiten aplicar transformaciones simples al modelo 3d, estas transformaciones sirven para adaptar el modelo al área de impresión o ajustarlo al tamaño deseado.

Para que aparezcan estas opciones, primero debemos de seleccionar el modelo 3D sobre el que queremos aplicar los cambios.

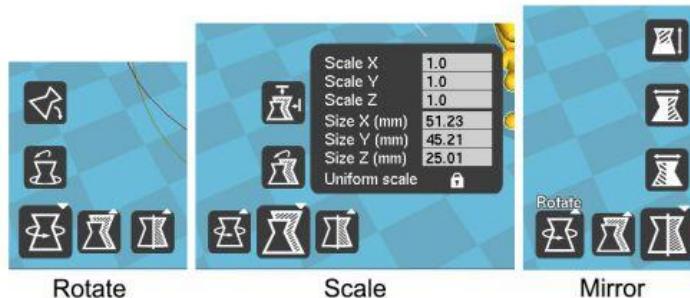


Figura 75: Opciones de transformación de Cura

- Rotate: Permite rotar el modelo en cualquiera de los 3 ejes. También da la opción de retornar los cambios que hayamos realizado pulsando "reset" o apoyar el modelo por su parte plana dando al botón "lay flat"
- Scale: Con esta función se puede modificar el tamaño del modelo 3D. Al pulsar este ícono, se despliega un menú donde podemos aplicar un factor de multiplicación a la escala del objeto o bien indicar las medidas que queremos que tenga el mismo. Este redimensionado puede hacerse de manera proporcional al objeto inicial o de manera totalmente libre en función de si tenemos la opción "Uniform Scale" activada o desactivada. Dentro de "Scale", también podemos encontrar la opción de deshacer los cambios aplicado pulsando "Reset" o escalar al tamaño máximo permitido por el área de impresión pulsando sobre "To max".
- Mirror: Esta opción crea una figura espejo de la figura inicial. Se puede espejar la figura en cualquiera de los 3 ejes.

Al seleccionar una pieza contenida en el área de impresión y hacer clic derecho, nos van a aparecer una serie de opciones que nos va a permitir cosas como multiplicar el número de objetos, eliminarlos centralizarlos en la superficie de impresión...

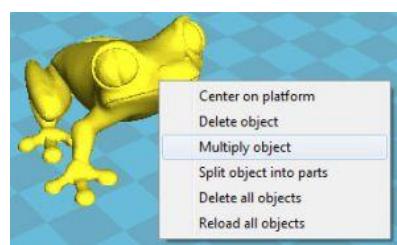


Figura 76: Multiplicar número de objetos Cura



La opción "multiply object" es una opción muy interesante para crear copias idénticas de un objeto sin tener que cargar varias veces el objeto, tan solo hay que indicar el número de copias que se desea del objeto y aparecerán ordenadas en la superficie de impresión

### Configuración del laminado

Tener una configuración adecuada a la hora de laminar la pieza que queremos imprimir, es casi tan importante como tener la impresora bien calibrada, una configuración deficiente o que no se adapte a las características de nuestra impresora va a dar como resultado impresiones de mala calidad. Para saber los parámetros exactos con los que nuestra maquina trabaja bien no queda otra que hacer pruebas hasta conseguir los valores a los que saquemos la máxima resolución.

Los valores que dé a continuación son valores orientativos y que en la mayoría de los casos darán buenos resultados, pero cada máquina tiene unas características concretas y puede que estos valores no saquen el mayor rendimiento de vuestra máquina.

Para configurar la forma en la que nuestra maquina va a realizar el laminado, tenemos una serie de pestañas en la parte izquierda de la pantalla, en estas pestañas vamos a encontrar las opciones más comunes a la hora de laminar, aunque no son las únicas opciones del programa que van a afectar al laminado, son con las que trabajaremos normalmente.

### Basic (Configuración básica)

The screenshot shows the 'Basic' tab of the Cura software configuration window. The window is divided into several sections:

- Quality:** Layer height (mm) is set to 0.2, Shell thickness (mm) is set to 0.8, and Enable retraction is checked.
- Fill:** Bottom/Top thickness (mm) is set to 0.6, and Fill Density (%) is set to 70.
- Speed and Temperature:** Print speed (mm/s) is set to 28, Printing temperature (C) is set to 240, and Bed temperature (C) is set to 90.
- Support:** Support type is set to 'None', and Platform adhesion type is set to 'Brim'.
- Filament:** Diameter (mm) is set to 3, and Flow (%) is set to 100.0.

Figura 77: Configuración básica cura



### Quality (Calidad)

- Layer height (Altura de capa): Este parámetro indica la altura de capa a la que se va a realizar la impresión. La altura de capa es un parámetro ligado directamente a la calidad de la pieza, a menor altura de capa mayor calidad, pero también va a incrementar considerablemente los tiempos de impresión, por ello lo mejor es llegar a un punto intermedio que de suficiente calidad sin alargar demasiado la impresión. Los valores de este parámetro estarán comprendidos entre 0.1 y 0.4mm. Se ha que tener en cuenta que el valor de la altura de capa no debe de ser igual o mayor al diámetro de la boquilla del HotEnd, ya que esto puede dar como resultado piezas quebradizas o con rajitas entre las capas.
- Shell Thickness (Grosor del borde): Este parámetro determina la anchura del borde del objeto. El valor de este parámetro va a estar influido directamente por el diámetro de la boquilla del HotEnd, siendo este valor igual al diámetro de la boquilla del HotEnd multiplicado por el número que vueltas que queramos dar al objeto. Por ejemplo, si nuestro HotEnd tiene una boquilla de 4mm y queremos que al menos de 2 vueltas al borde del objeto, debemos de poner un valor de 0.8mm. El valor que debemos de introducir en este parámetro dependerá de la tipología de la pieza y del relleno que usemos, pero lo normal es hacer un borde con 2 o 3 vueltas.
- Enable retraction (Habilitar retracción): Esta opción hace que en los desplazamientos el extrusor retraiga un poco el plástico para que no gotee, evitando así pequeños defectos en la impresión. Esta opción es muy recomendable tenerla activada.

### Fill (Relleno)

- Bottom/Top thickness (Grosor de la capa inferior y superior): Con este parámetro indicaremos que grosor tendrán las capas superior e inferior. Estas capas no se ven afectadas por la configuración de relleno, por lo que serán capas macizas. Dependiendo de la figura que queramos imprimir y del relleno que usemos vamos a necesitar más o menos capas, lo normal es usar 3 o 4 capas macizas, pero en algunas piezas para tener un buen acabado vamos a necesitar algunas más. El valor del grosor de capa hay que indicarlo en milímetros, por lo que hay que multiplicar el valor de la altura de capa por el número de capa que queramos, por ejemplo, si estamos imprimiendo con una altura de capa de 0.2mm y queremos tener 3 capas macizas, habrá que introducir en este parámetro 0.6mm.
- Fill Density (Densidad de relleno): Este valor indica el relleno que va a tener la figura. El relleno va a repercutir directamente en el tiempo de impresión y en el coste de la pieza, por ello el hacer las piezas con poco relleno va a ser muy beneficioso, pero al mismo tiempo va a mermar la resistencia de la pieza, por lo que el relleno va a depender de las características mecánicas que queramos conseguir. Para creaciones artísticas, figuras o elementos decorativos, podemos usar un relleno del 20%, mientras que para piezas que deban soportar peso o esfuerzos podemos darle un 80% de relleno.



### **Speed and Temperature (velocidad y temperatura)**

La velocidad y la temperatura son parámetros que están íntimamente ligados en la impresora 3D y de los que depende en gran medida la calidad de impresión. Por regla general a mayor temperatura de impresión podremos imprimir a mayor velocidad sin disminuir la calidad, pero la temperatura es un parámetro que no podemos subir todo lo que queramos ya que podemos dañar el HotEnd o provocar atascos por exceso de calor.

- Print speed (velocidad de impresión): En este parámetro vamos a fijar la velocidad de impresión. A mayor velocidad conseguiremos menor calidad en la impresión, por lo que hay que ajustar el valor en función de la calidad que deseemos obtener. También va a depender mucho que máquina estemos usando, ya que no todas pueden alcanzar las mismas velocidades con la misma resolución. A modo orientativo, podéis fijar la velocidad en 28mm/s (que es una velocidad muy prudente) e ir subiendo la velocidad progresivamente hasta determinar la velocidad optima de vuestra máquina.
- Printing Temperature (temperatura de impresión): Fija la temperatura del HotEnd a la que se va a imprimir. En función del plástico utilizado vamos a usar una u otra temperatura. Los plásticos más comunes son el ABS y el PLA, para ABS fijaremos una temperatura de 220-240º y para el PLA de 190-210º
- Bed Temperature (temperatura de la cama caliente): Fija la temperatura de la cama caliente. La temperatura de la cama caliente cambiará en función del plástico que usemos, para el PLA no es necesario calentar la cama (aunque se adquiere mejor si se templa a unos 30º) y para el ABS fijaremos la cama de 80 a 110º (dependiendo del ABS que usemos).

### **Support (soporte)**

Para muchas de las impresiones debemos de usar elementos que aseguren una correcta impresión como pueden ser los elementos de soporte o de mejora de la adherencia.

- Support type (tipo de soporte): Esta opción creará soportes donde sea necesario. Los soportes se emplean cuando la pieza tiene partes en el aire que no se puedan sustentar o cuando esta crece con un ángulo superior al que tengamos fijado. En las opciones podemos seleccionar 2 tipos de soporte, "Touching Buildplate" o "Everywhere", la primera opción crea soportes apoyándose solo en la base y la segunda crea soportes que apoyan en cualquier parte de la pieza.
- Platform adhesion type (plataforma de adhesión): Con esta opción podemos crear una plataforma en la base que mejore la adhesión de la pieza. Existen 2 tipos de bases, la primera "Brim" crea una especie de visera en todos los bordes de la figura y la segunda "Raft" va a generar una base completa sobre la cual se va a construir la pieza. Tened en cuenta que al aplicar "Raft" la figura no va a apoyar su base sobre el cristal de impresión, por lo que esta superficie no va a quedar con una terminación tan buena como si se imprimiera directamente sobre el cristal.

### Filament (Filamento)

- Diameter (Diámetro de filamento): Establece el diámetro del filamento que estemos usando. Los diámetros que se usan comúnmente son de 3mm y 1.75mm
- Flow (Multiplicador del flujo de filamento): Este parámetro modifica la cantidad de filamento que extruye la impresora. Este parámetro se usa para corregir la cantidad de plástico extruido, ya que podemos tener mal calibrado el extrusor o el filamento puede ser de un diámetro ligeramente diferente al indicado.

### Advanced (Configuración avanzada)

Machine	
Nozzle size (mm)	0.4
Retraction	
Speed (mm/s)	40.0
Distance (mm)	4.5
Quality	
Initial layer thickness (mm)	0.2
Initial layer line width (%)	100
Cut off object bottom (mm)	0.0
Dual extrusion overlap (mm)	0.15
Speed	
Travel speed (mm/s)	130
Bottom layer speed (mm/s)	20
Infill speed (mm/s)	35
Outer shell speed (mm/s)	25
Inner shell speed (mm/s)	25
Cool	
Minimal layer time (sec)	10
Enable cooling fan	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 78: Configuración avanzada Cura



### **Machine (Maquina)**

- Nozzle size (Diametro de la boquilla del Hotend): En este parámetro especificaremos el diámetro de la boquilla del HotEnd que estemos usando. Los diámetros más comunes son 0.5mm 0.4mm y 0.35mm.

### **Retraction (Retracción)**

- Speed (velocidad): Velocidad a la que realiza la retracción. Este parámetro tiene un amplio margen de trabajo, por defecto trae 40mm/s que es una velocidad a la que funciona bien, se puede aumentar la velocidad mucho mas, pero una velocidad muy elevada puede mellar el filamento y estropear la impresión.
- Distance (Distancia): Indica la cantidad de filamento que va a retraer. Por defecto trae 4.5mm que es un valor que funciona bien.

### **Quality (Calidad)**

- Initial layer thickness (grosor de la capa inicial): Este parámetro fija el grosor de la capa inicial. Si queremos hacer que la capa inicial tenga el mismo valor que el resto de capas, le asignaremos el valor 0. No es recomendable que la capa inicial sea demasiado gruesa, ya que esto va a repercutir en la adherencia, no es recomendable que la altura de la capa inicial sea mayor de 0.3mm.
- Initial layer line width (Ancho de linea inicial): Establece el ancho de línea en la primera capa. Este parámetro va a afectar directamente al "flow" de la primera capa, mejorándose la adherencia de la figura al depositar mayor cantidad de plástico en la primera capa.
- Cut off object bottom (Corta la base del objeto): Con este parámetro podemos cortar la figura a la altura deseada. Este parámetro hundirá la figura en la base empezando la impresión a la altura que deseemos.

### **Speed (Velocidad)**

- Travel speed (Velocidad de desplazamiento): Fija la velocidad a la que se va a mover el extrusor al desplazarse de un punto a otro de la máquina. Está configurado por defecto a 150mm/s, aunque con algunas impresoras puede ser un movimiento demasiado rápido por lo que recomiendo bajarlo a 130mm/s.
- Bottom layer speed (velocidad de la primera capa): Este parámetro establece la velocidad de impresión de la primera capa. Es muy importante para la adherencia de la pieza realizar la primera capa a baja velocidad, por lo que se deberá de fijar a un valor inferior a la velocidad de impresión normal. Un valor con el que se obtiene un buen resultado en la mayoría de impresoras es 22mm/s.
- Infill speed (velocidad de relleno): Fija la velocidad a la que se va a realizar el relleno de la figura. Para realizar el relleno de la figura se puede aumentar la velocidad considerablemente sin que la calidad de la pieza se vea afectada, reduciendo así el tiempo de impresión. Como referencia, podéis fijar este valor en 40mm/s e ir aumentándolo progresivamente hasta determinar la velocidad ideal para vuestra máquina.



- Outer shell speed (Velocidad de la capa externa): Este parámetro establece la velocidad de la capa exterior de la pieza. Es un parámetro del que va a depender en gran medida el acabado de la pieza, por ello conviene establecer una velocidad baja para este parámetro. En torno a 25mm/s es una velocidad adecuada.
- Inner shell speed (Velocidad de los bordes interiores): Establece la velocidad de los bordes interiores (lo que no se ven). Este parámetro va a fijar la velocidad de los bordes que no son externos (dependiendo de la configuración del "Shell Thickness", vamos a tener mayor o menor número de estos bordes). Al ser bordes no visibles, podemos aumentar la velocidad con respecto a los bordes visibles sin que afecte a la terminación de la pieza, fijad inicialmente este valor en 30mm/s.

### Cool

- Minimal layer time (tiempo mínimo de capa): Fija el tiempo mínimo para terminar una capa antes de empezar con la siguiente. Si empezamos una capa sin que la anterior se haya enfriado, el acabado va a ser muy malo e incluso vamos a tener una figura deformada, por ello hay que fijar un valor mínimo. Este valor va a depender del tipo de plástico que estemos usando y de la temperatura de impresión, fijad este valor al menos en 10 segundos.
- Enable cooling fan (Habilitar ventilador de capa): Esta opción habilita el ventilador de capa (si nuestra impresora cuenta con uno). El ventilador de capa nos va a ayudar a enfriar las capas de manera uniforme, mejorando en gran medida la calidad de piezas que por su pequeño tamaño no se enfrian correctamente antes de depositar las siguientes capas.

### Plugins

En este apartado se pueden añadir plugins que doten al programa de funcionalidades que inicialmente no tiene. Es posible diseñarse plugins para un fin específico específicos o descargarse plugins ya creados. Por defecto CURA trae dos plugins instalados.

- Pause at height (Pausar a una altura): Es un plugin que pausa la impresión a una altura determinada.
- Tweak at Z (Cambio a Z): Es un plugin que cambia los valores de impresión que hemos fijado al llegar a una determinada altura de impresión

Para habilitar estos plugins, debemos seleccionarlos y pulsar la flecha inferior que los moverá a "enable plugins", una vez aquí, podemos configurar el plugin con los valores que queramos.

### Start/End gcode

En este apartado podemos añadir parámetros directamente al gcode de inicio y fin de impresión.

El gcode, es el archivo que va a reconocer nuestra impresora y tiene todos los comandos necesarios para el control de la misma. En este apartado, podemos modificar el funcionamiento inicial y final de la impresora añadiendo comandos o modificando el comando existente.

En el gcode de inicio que trae precargado CURA, se indica que antes de la impresión haga un "homing", suba el eje Z, extruya una pequeña cantidad de filamento y posteriormente comience la impresión. En el código de fin, apagará tanto el HotEnd como la cama caliente, retrae filamento, sube el eje Z y va a una posición específica. Si nos interesa cambiar alguno de estos parámetros podemos hacerlo directamente sobre este código.

### Barra de Menú

En la barra de menú podemos encontrar un montón de opciones e información tanto para la configuración de la impresora como del propio laminador. Estas opciones están divididas en 5 pestañas, "File", "Tools", "Machine", "Expert" y "Help". Muchas de las opciones que podemos encontrar en estas pestañas son accesibles desde diferentes partes del programa o son las típicas opciones que podemos encontrar en la mayoría de los programas, por lo que tan solo pasare a detallar las opciones más importantes.

### File

- Open profile/Save profile: Esta opción nos permite guardar nuestras configuraciones de CURA o cargar configuraciones guardadas con anterioridad. Es muy útil tener varias configuraciones guardadas con acabados diferentes o configuraciones para diferentes máquinas, así no es necesario cambiar una y otra vez los parámetros de impresión cada vez que cambiamos de maquina o de filamento.
- Preferences (Preferencias): En esta opción podemos encontrar parámetros muy diferentes que van a cambiar desde el aspecto visual de algunos elementos hasta opciones de programa.

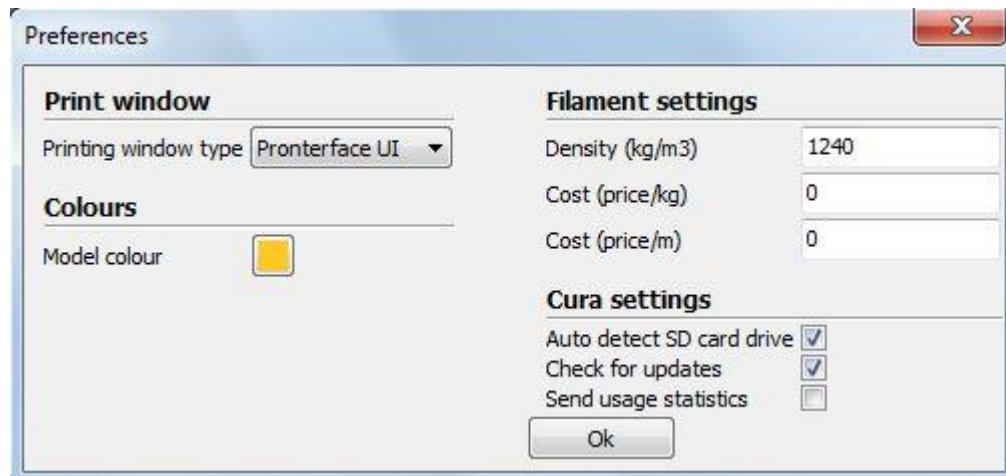


Figura 79: Preferencias Cura

- Print window (Ventana de impresión): En esta pestaña podemos seleccionar el aspecto de la ventana de impresión, CURA ofrece dos posibilidades, la que trae por defecto (Basic) y una ventana que imita el entorno del Pronterface (Pronterface UI). Por defecto trae seleccionada "Basic", recomiendo cambiar esta opción a "Pronterface UI", ya que es mucho más visual y tiene un entorno más agradable.
- Colours (colores): Con esta opción podemos cambiar el color del modelo 3D que aparece en el área de impresión.
- Filament Settings (Ajuste del filamento): En esta ventana podemos introducir los parámetros reales del filamento que estemos usando. Un parámetro muy interesante que conviene rellenar es el que indica el precio por kg de filamento, ya que al llenar este parámetro, además de conocer el tiempo de impresión y metros de filamento necesarios, el programa nos va a mostrar en pantalla el coste de la impresión.
- Cura Settings (Configuración de CURA): En este apartado se muestran 3 opciones del programa, la primera "auto detect SD card drive" va a detectar cuando conectemos una tarjeta SD en el ordenador para guardar directamente el proyecto creado en gcode. La segunda opción "Check for updates" hace que el programa compruebe si existen nuevas versiones de CURA al inicio de cada sesión y la tercera opción "Send usage statistics" mandará información a Ultimaker.
- Machine Settings (Configuración de la maquina): Aquí podemos encontrar un gran número de parámetros que se deben configurar en función de las características físicas de nuestra máquina.

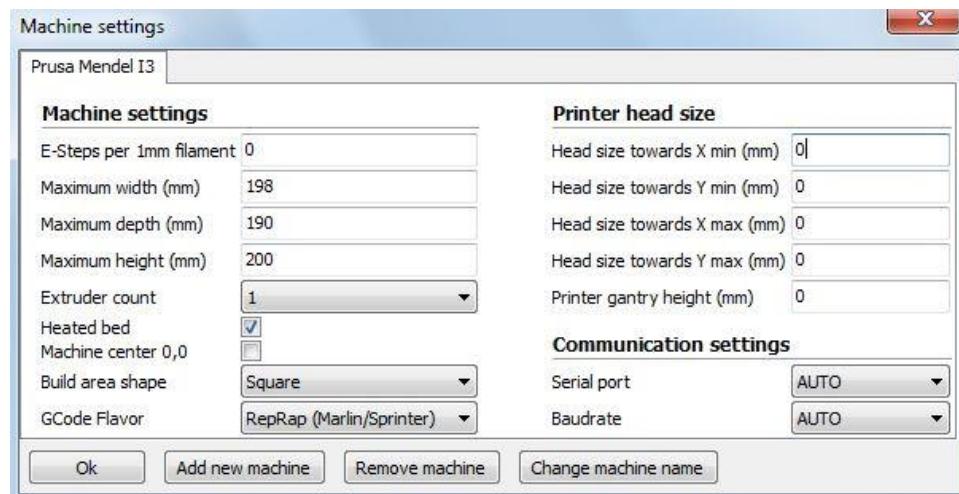


Figura 80: Machine Setting Cura

- E-Steeps per 1mm filament: Va a definir los pasos que tiene que dar el motor del extrusor por cada milímetro de filamento extruido. Recomiendo configurar este parámetro en el firmware e introducir aquí el valor "0"
- Maximun width/depth/heighth: En estos parámetros hay que introducir la medida real del volumen de impresión. Estos valores van a ser los valores límite a los que se van a poder mover los ejes de la impresora.



- Extruder count: Aquí hay que indicar el número de extrusores con los que cuenta nuestra máquina. El tener más o menos extrusores va a cambiar algunas opciones de programa, ya que hay parámetros que deben ser configurados para cada extrusor de manera independiente.
- Heated bed: Si nuestra impresora cuenta con una cama caliente hay que marcar esta opción para activarla.
- Machine center 0,0: Si esta opción está habilitada, establece el centro de la máquina en el punto 0,0. Lo más común es trabajar con esta opción deshabilitada.
- Build area shape: Determina la forma del área de impresión. Dependiendo del modelo de impresora, el área de impresión puede ser cuadrada o circular (impresoras tipo delta), seleccionar el tipo de área en función de la impresora.
- Gcode flavor: En función del tipo de máquina y del firmware que tenga cargado, va a reconocer un tipo de gcode u otro. Seleccionar el que se adapte a vuestra impresora.
- Printer head size: Estos parámetros se usan para determinar el tamaño del HotEnd y de los elementos que tengamos entorno a este. Es necesario llenar estos parámetros si queremos imprimir múltiples objetos de forma simultánea y que ninguna parte del extrusor golpee a las piezas ya creadas.
- Communication settings: estos parámetros establecen tanto el puerto al que tenemos conectado la impresora como la tasa de transferencia de datos (baud rate). Se pueden poner ambas opciones en "AUTO" siendo el programa el determine estos parámetros.

## Tools

En la pestaña "tools" podemos encontrar 2 opciones que van a cambiar la forma en la que la impresora va a imprimir cuando tenemos múltiples objetos en el área de impresión.

Cuando situamos varios objeto en el área de impresión, por defecto los va a imprimir todos a la vez (print all at once), pero podemos configurar la impresora para que imprima estos objetos de uno en uno, para ello hay que marcar la opción "print once at time". Con esta opción marcada, la impresora hará cada objeto de manera independiente, comenzando un objeto siempre que haya terminado el anterior, esta es una buena opción para impresiones largas con múltiples objetos, ya que si en algún momento falla la impresión puede que tengamos algún objeto completo y no tengamos que desechar la bandeja entera.

## Machine

En la pestaña machine podemos tener varias configuraciones preestablecidas si tenemos varias máquinas que usan configuraciones diferentes. Al imprimir con una u otra máquina, tan solo debemos de seleccionar aquí la máquina que estemos usando y se cargaran los valores que tenemos guardados por defecto.

También podemos encontrar un acceso a "Machine settings" que nos llevará al mismo menú que "file/Machine\_settings"

Este menú también da la opción de cargar un firmware específico a la impresora (install custom firmware).

## Expert

En la pestaña "Expert", las dos primeras opciones que nos encontramos nos van a permitir conmutar el modo en que aparecen las opciones de impresión entre una "impresión rápida" (sin apenas configuración) y una "impresión completa" (con todas las opciones). En la impresión rápida, tan solo hay que introducir la calidad que queremos obtener, el tipo de filamento que estamos usando y su diámetro, mientras que en la opción completa, aparecen todos los parámetros que afectan a la impresión.

Recomiendo usar la configuración completa, ya que permite adaptar los parámetros de impresión a cada máquina.

La siguiente opción "Open Expert Settings", abrirá una ventana de configuración donde se pueden alterar parámetros de impresión que no aparecen en las opciones de impresión básicas.

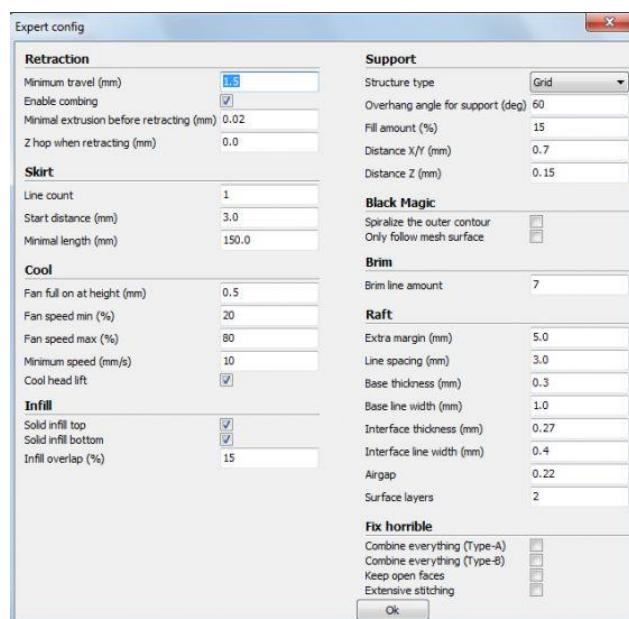


Figura 81: Configuración avanzada de parámetros Cura

## Retraction (retracción)

La impresora hará la retracción del filamento siempre que tenga que moverse de un punto a otro sin imprimir. Esta retracción se realiza para evitar que gotee el plástico.

- Minimun travel (desplazamiento mínimo): Fija el desplazamiento mínimo para el que se realizará la retracción del filamento.
- Enable combining: Si esta opción está marcada, además de realizarse la retracción, la impresora va a evitar que el HotEnd pase sobre los orificios o huecos.
- Minimal extrusion before retracting (mínima extrusión antes de retraerse): Fija la cantidad mínima de plástico que se debe de extruir antes de realizar la retracción. Si no se extruye al menos esta cantidad de filamento, la retracción será ignorada.



- Z hop when retracting (elevación del eje Z al retraer): Esta opción hace que se eleve el eje Z cuando se realizan desplazamientos. Es una opción muy útil y que va a mejorar la calidad de piezas que tengan detalles pequeños, evitando junto con la retracción que aparezcan hilos que afeen la impresión. Para piezas simples recomiendo tenerla desactivada (ya que activarla va a incrementar el tiempo de impresión), si la pieza es compleja y tiene detalles, se puede introducir en este parámetro una altura que sea el doble de la altura de capa que se esté usando.

### Skirt

El skirt o falda es una línea que va a rodear el modelo que estemos imprimiendo. Esta línea tiene 2 propósitos, el primero es determinar los límites donde estará contenido el modelo y el segundo es limpiar el HotEnd eliminando posibles burbujas de aire de su interior o suciedad de la propia boquilla.

- Line count (Número de líneas): Fija el número de vueltas que dará rodeando al objeto.
- Start distance (Distancia al objeto): Establece la distancia de separación entre el objeto y la falda.
- Minimal length: (longitud mínima): Establece la longitud mínima que tendrá la falda. En piezas pequeñas la falda no será suficientemente grande para limpiar correctamente el HotEnd, por lo que se fija una distancia mínima, incrementando el número de vueltas hasta llegar a esta distancia.

### Cool

Los parámetros contenidos en "Cool" afectan a la forma en la que se va a enfriar la pieza, pudiendo modificar las opciones del ventilador de capa o los tiempos mínimos de impresión.

- Fan full on at height (Ventilador activo a cierta altura): Esta opción va a activar completamente el ventilador de capa a partir de la altura seleccionada. Para las capas inferiores, el ventilador funcionará a una velocidad proporcional, estando siempre desactivado para la capa inicial.
- Fan speed min/max (velocidad máxima y mínima del ventilador): Estos parámetros establecen la velocidad máxima y mínima del ventilador de capa. Dependiendo del ventilador instalado en la impresora, hay que regularlo para que el flujo de aire sea correcto, ya que un flujo excesivo enfriará la pieza demasiado rápido y puede hacer que aparezcan rajas en la pieza.
- Minimun speed (velocidad mínima): Establece la velocidad mínima de impresión. Este parámetro es muy importante, ya que al imprimir a muy baja velocidad el plástico se va a recalentar demasiado deformando la impresión, por ello es necesario fijar una velocidad mínima para que esto no suceda. Este valor va a depender del tipo de filamento con el que estemos imprimiendo, para la mayoría de filamentos un valor de 10 a 15mm/s es suficiente.
- Cool head lift (Sube para enfriar): Si esta opción esta seleccionada, va a elevar el HotEnd al completar una capa si no se ha cumplido el tiempo mínimo establecido para cada capa, dándole tiempo a enfriarse y separándose para no recalentar el plástico.



### Infill

- Solid infill top/bottom (relleno sólido superior e inferior): Al seleccionar estas opciones, tanto la capa inferior como la superior serán sólidas y no se verán afectadas por el factor de relleno que se tenga aplicado al diseño. Es recomendable tenerlas siempre activadas.
- Infill overlap (solapamiento del relleno): Este parámetro controla la cantidad de relleno que se va a solapar con los bordes. El valor que trae por defecto (15%) funciona bien.

### Support

Los soportes son elementos que en muchas ocasiones son totalmente necesarios para imprimir el modelo, y en función de las características del mismo, habrá que modificar los soportes para que se adapten lo mejor posible al diseño y sean fácilmente retirables.

- Structure type (tipo de estructura): Podemos seleccionar entre dos tipos de estructuras, una compuesta por una cuadrícula (grid) y otra compuesta por líneas (lines). Elegid la que mejor se adapte a vuestro modelo, aunque la estructura "grid" da por lo general mejores resultados.
- Overhang angle for support (ángulo máximo para soportes): Indica el ángulo máximo para el que se empezarán a usar los soportes. Este ángulo toma como referencia la vertical, teniendo un muro vertical un ángulo de 0° y un puente horizontal un ángulo de 90°. La mayoría de impresoras son capaces de crecer con ángulos de al menos 45°, por lo que los soportes no son necesarios para ángulos inferiores. Fijad el valor en 45° y aumentar el valor hasta determinar el límite de vuestra máquina.
- Fill amount (Cantidad de relleno): Fija el relleno que se va a usar para los soportes. El relleno va a definir la separación entre las líneas de soporte, vuestra impresora deberá de crear puentes usando estas líneas y salvando estos huecos. Suelen funcionar bien valores de relleno del 20% al 50% (en función del diseño).
- Distance X/Y (Distancia X/Y): Establece la separación entre los bordes del objeto y los soportes. Si esta distancia es muy pequeña, se pueden unir los bordes con los soportes haciendo que los soportes sean muy complejos de retirar y afeando la terminación final de la pieza. Una separación de 0.7mm será suficiente para HotEnds con boquillas de hasta 5mm.
- Distance Z (Distancia Z): Establece la separación en Z (altura) que habrá entre el soporte y la pieza. Esta distancia está determinada en gran medida por la altura de capa que se use, siendo lo más correcto introducir aquí un valor que sea la mitad de la altura de capa. Los valores 0.1mm o 0.15mm funcionan bien.

### Black magic

- Spiralize the outer contour: Esta opción imprime el contorno del objeto con una base sólida. Convierte un elemento sólido en un objeto hueco.
- Only follow mesh surface: Esta opción imprime la superficie o cáscara del objeto, sin que se tengan en cuenta la base, el relleno o la capa superior.



### Brim

- Brim line amount (Ancho de la visera): En este parámetro se indica el ancho que va a tener la visera. Cuanto mayor sea el ancho de la visera, mayor va a ser la adhesión que tendrá el objeto. El tamaño de la visera va a depender de la superficie de contacto y de la forma que tenga la pieza, siendo valores comunes los que están comprendidos entre 5 y 20 milímetros.

### Raft

Aquí podemos configurar todos los parámetros de la base de impresión. Esta base, como se comentó en la "configuración del laminado", va a mejorar la adhesión de la pieza creando una especie de malla sobre la que se imprimirá el objeto.

- Extra margin (Margen extra): Este parámetro fija el margen que sobresaldrá la base del objeto.
- Line spacing (Espacio entre líneas): Fija la distancia entre las líneas que formaran la malla.
- Base thickness (Espesor de la base): Establece el espesor que tendrá la base. Por defecto se suelen hacer 1 o 2 capas de base (en función del espesor de capa).
- Base line width (Ancho de la línea de base): Este parámetro modifica el grosor de las líneas con las que se confecciona la base. Da buenos resultados usar líneas que tengan el doble de ancho que la boquilla del HotEnd (dará dos pasadas por línea).
- Interface thickness (Espesor de la capa intermedia): Establece el grosor de la capa intermedia que tiene la base.
- Interface line width (Espesor de la línea intermedia): Establece el grosor de las líneas que forman la capa intermedia de la base.
- Airgap: Este parámetro modifica el espacio entre la última capa de la base y la primera capa del objeto. Esta separación va a influir en la facilidad a la hora de retirar la base del objeto.
- Surface layers (capas de la superficie): Fija el número de capas de la parte superior de la base

### Fix Horrible

Las opciones incluidas en "Fix horrible" son opciones para intentar mejorar o reparar los objetos. El programa por defecto realiza modificaciones en el diseño 3D que puede dar como resultado efectos no deseados y que alteren el modelo original. Las opciones contenidas en "fix horrible" por si solas o combinadas entre sí, cambian la manera en que CURA va a interpretar el modelo 3D, solventando posibles problemas a la hora de imprimir.

Por defecto CURA suele reparar correctamente todos los errores del modelo 3D, estas opciones solo son recomendables activarlas en casos excepcionales, ya que pueden afectar negativamente a la impresión.

- Combine everything (Type A): Une todas las partes del modelo en base a las normales intentando mantener los orificios internos intactos.
- Combine everything (Type B): Une todas las partes del modelo ignorando orificios internos y conservando la capa exterior.
- Keep open face: Mantiene abiertos pequeños huecos que pudiera tener el modelo. Por defecto CURA cierra los huecos o grietas pequeñas del modelo, ya que los toma como errores del diseño.
- Extensive stitching: Repara los agujeros o grietas del modelo, cerrando los orificios que tengan polígonos que se toquen.

Las dos últimas opciones que podemos encontrar dentro de la pestaña "Expert" son: Run first run wizard, con esta opción podemos ejecutar el asistente para la configuración inicial. Este asistente se ejecuta por defecto la primera vez que instalamos el programa Run bed leveling wizard, al pulsar esta opción, se va a ejecutar un asistente que ayuda en el proceso de nivelación de la cama.

### **Menú de impresión**

Una vez cargado el modelo en el área de impresión y configurado los parámetros de laminado, podemos guardar estos valores en la tarjeta SD e imprimir la figura usando para ello la pantalla LCD de la impresora 3D o bien podemos establecer una conexión entre la impresora y el ordenador abriendo para ello el menú de impresión.

Podemos abrir el menú de impresión pulsando sobre el icono "print with USB" que encontraremos en la parte superior del área de impresión o haciendo clic sobre la opción "print" que está dentro del menú "file" de la barra de tareas.

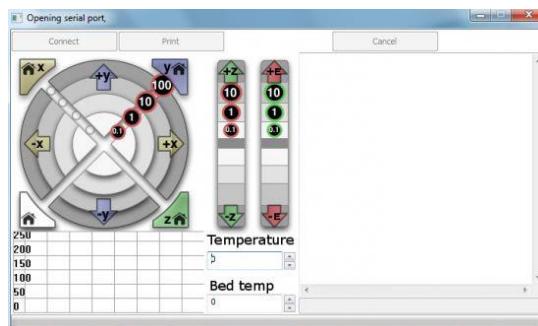


Figura 82: Menú impresión de Cura

Al hacer esto se nos abrirá una nueva ventana con el menú de impresión. Esta ventana puede mostrar dos entornos visuales distintos en función de la configuración que tengamos (ver "preferences"), puede mostrar la vista básica de CURA o cargar el entorno de prонterface. En ambos entornos de impresión vamos a encontrar las mismas opciones, mover los ejes en todas direcciones, extruir, fijar la temperatura tanto de la cama caliente como del HotEnd y visualizarla en el monitor de temperaturas. Cuando la impresora tenga la temperatura deseada y tengamos todo listo, tan solo hay que hacer clic sobre el botón "print" para que comience la impresión.



## 7.4. Programa de CAD (SolidWorks)

CAM (Computer Aided Manufacturing), fabricación asistida por ordenador. Este tipo de programas generan las órdenes que puede entender la máquina utilizada para fabricar un diseño a partir del archivo CAD generado. En el campo de la impresión 3D este software genera las capas necesarias para construir el sólido deseado y las órdenes para controlar las entradas y salidas de una impresora 3D.

**SolidWorks** es un programa privado, es necesario tener una licencia para poder utilizarlo, en nuestro caso contamos con la licencia académica proporcionada por la Escuela de Ingenierías.

Fue posible redibujar las piezas hechas con OpenSCAD convirtiéndolas a STL y abriendo esta extensión con SolidWorks, posteriormente reconociendo las operaciones y pudiendo modificarlas según las necesidades y exigencias del usuario.

Por ultimo cabe destacar que el programa SolidWorks permite realizar grandes ensamblajes complejos y además extraer planos de los sólidos diseñados, como en el caso de los realizados de ambas réplicas de las impresoras que se trabajaron en este proyecto.

## 7.5. Conclusiones

Como conclusión más importante a destacar es la imposibilidad de conseguir que el firmware existente del cual se dispone libremente de una impresora multimaterial con único extrusor que intercambie el tipo de material no funciona correctamente, luego el proyecto de esa impresora se sustituyó por el de una impresora con doble extrusor independiente, que también presenta ventajas e inconvenientes como el costo de un doble extrusor, doble motores y correas del eje x.

Una de las ventajas fundamentales es la posibilidad de imprimir varios materiales o colores, gracias a que cada extrusor imprime la parte que le corresponde mientras que el otro permanece en reposo evitando la disposición de material fundido en zonas no deseadas.

Además otra gran ventaja es la posibilidad de duplicar las impresiones que cada extrusor realiza por independiente en una determinada zona de la cama caliente.

Por otro lado se utilizar un material de impresión de tipo PVA (material hidrosoluble) que generan estructura de soporte y posteriormente se desprendan del prototipo con facilidad, obteniendo mejores resultados y geometría compleja.

Para finalizar la mayor ventaja es el objetivo inicial del proyecto una impresora que sea capaz de crear piezas híbridas de dos materiales, rígidos de tipo ABS y flexibles de tipo Filaflex, con el fin de crear ruedas de robots, mecanismos que ofrezcan cierta libertad de movimiento en articulaciones o nudos de unión.



# CAPITULO 8: PRUEBAS Y RESULTADOS

## 8.1. Introducción

Una vez que esta la impresora 3D construida con la parte mecánica y electrónica, además de los programas necesarios instalados y configurados debidamente, podemos comenzar a hacer nuestras primeras pruebas. Aunque no es el objetivo de este proyecto hacer una buena calibración y configuración de la impresora, se quiere destacar que los parámetros que inicialmente configuraremos, a no ser que los consigamos de otro usuario que este experimentado y tenga una impresora, del mismo modelo que la nuestra y con los mismos componentes (electrónica, hot-end, etc.) y las mismas versiones de los mismos, en funcionamiento óptimo con esos parámetros, no nos permitirán imprimir las piezas que deseemos con la calidad que nos gustaría. Hay que ir haciendo sucesivas pruebas y en función de los resultados que vayamos obteniendo ir modificando unos parámetros u otros. Ya que la calibración de la misma es muy importante en conseguir una impresión con buena calidad, pudiendo considerarse una calidad de capas de plástico de 0,1 mm.

## 8.2. Ajustes previos calibración de drivers

La calibración de los drivers de los motores debe realizarse previamente a la alimentación de la placa electrónica.

El driver permite pasar más o menos corriente a tu motor. No todos los motores están preparados para soportar la misma cantidad de corriente continua circulando por las bobinas. Si circula demasiada corriente los motores se van a sobrecalentar. Unos drivers calibrados mantienen los motores a una temperatura adecuada.

Antes de ponerte a calibrar los drivers, asegúrate de tener a mano un polímetro o multímetro capaz de medir amperios y un pequeño destornillador al ser posible de cerámica con el fin de evitar hacer cortocircuitos.

Medir la corriente con el polímetro es distinto que medir voltaje. Lo que tenemos que hacer es que la corriente pase a través del polímetro.

El multímetro tiene 3 entradas. Una negra, es el común. Otra para medir voltaje (que es donde suele estar la sonda roja) y otra para medir amperios, que suele poner A.

- Conecta la sonda negra a COM en el polímetro (siempre tienes que tener el negro en COM)
- Conecta la sonda roja a la entrada de amperios en el polímetro.
- Selecciona los amperios en el polímetro.
- Usa el negro y el rojo como si fuese el cable positivo que une la fuente de alimentación con tu electrónica.



Nuestro objetivo es bajar la corriente todo lo que podamos, mientras que los motores no pierdan paso (esto es, que el motor intente mover la impresora 3D y no sea capaz porque le falta fuerza).

Solo conectaremos un motor de cada vez. Vamos calibrando los motores uno a uno.

- Conectamos el negativo de la fuente, al negativo de nuestra electrónica
- Conectamos el positivo de la fuente, al positivo del polímetro.
- Conectamos el negativo del polímetro, al positivo de la electrónica.

Cuando nos conectamos a la impresora, con el (*Pronterfce* o el *Repetier*), el motor está fijo. Ya está en máximo de consumo.

En una impresora, los valores recomendados son:

- Para el eje X e Y, deberíamos de tener un consumo de **0.2A** (ó *200 miliamperios*).
- Para el eje Z, deberíamos de tener un consumo de **0.4A** (*porque vamos a tener 2 motores*)
- Para el eje del extrusor, deberíamos de tener **0.4A** (*necesita más fuerza que los otros motores*)

#### Cómo ajustar el driver paso a paso:

1. Apagamos la fuente de alimentación.
2. Con el destornillador, giramos ligeramente el potenciómetro del driver.
3. Encendemos y vemos el consumo en el polímetro.
4. Apagamos la fuente de nuevo. Giramos ligeramente el potenciómetro. Encendemos y volvemos a medir.
5. Así hasta que tengamos el valor deseado en cada eje.

Si se desea mayor información sobre la guía de ajustar los drivers se recomienda el siguiente enlace citado en el capítulo de referencias [15].

### 8.3. Nivelación y calibración de la impresora

Este punto es uno de los más importantes, la nivelación influye directamente en la calidad de piezas. Se puede tener un software perfectamente calibrado, pero si físicamente la máquina no está bien calibrada y nivelada, no obtendremos buenos resultados.

Si la impresora lleva una cama caliente *PCB Heatbed MK2A*, con los sensores de nivelación no será necesario, ya que posee la posibilidad de conseguir un auto calibrado y con ello también una perfecta primera capa.

La impresora entra en un modo de auto-calibración buscando los puntos de calibración y realizando los cálculos necesarios.

Con el nuevo sistema de auto-calibración y el lanzamiento de MK2, los investigadores de Prusa resuelven dos grandes problemas:

1. La cama de impresión está libre de preparaciones gracias al material PEI
2. Con la auto-calibración de la cama, se eliminan muchos problemas y no se requieren ajustes posteriores.



La cama de impresión tiene una calibración especial de 3x3 puntos, por lo que la impresora es capaz de calcular que distancia está entre la cama caliente y el cabezal, generando un mapa de alta resolución permitiendo al cabezal de la impresora navegue con exactitud para crear la primera capa.

Para calibrar la altura del eje X respecto a la cama de forma manual, se procederá con un pie de rey, si es digital mejor, y se medirán las distancias desde el soporte del motor z a la pieza del soporte del motor del eje x, tal y como indica en la siguiente figura.



Figura 83: Regulación manual de altura del eje x

Si la distancia no es la misma, se tendrá que sujetar uno de los dos adaptadores flexibles del eje z y girar el otro. Realizaremos esta operación hasta que la distancia sea exactamente la misma.

Para la nivelación de la cama caliente con la boquilla del extrusor de forma manual, se debe realizar con la impresora precalentada a la temperatura de impresión del material.

En la posición inicial (0,0,0) que pondremos desde el display o el ordenador conectado con usb, la distancia que debe existir entre la boquilla y el cristal o espejo que podemos fijar con pinzas de oficina o directamente la cama caliente debe ser la seleccionada en cada caso, que se suele usar 0,2 mm que para ello se podrá medir con un juego de galgas o bien un truco usado en la comunidad de impresión es colocar dos folios superpuestos de 80 gr/m<sup>2</sup> que tienen un espesor de 0,1 mm cada uno aproximadamente.

Para mover los componentes libremente para observar la calibración de cada eje se debe seleccionar la opción de Disabler Stepper ya que sino forzaríamos los motores.

Además la cama caliente lleva unos tornillos y palometas que permiten la regulación de la altura de la cama caliente en los cuatro puntos de apoyos.

No se debe mover lo componente incluso con la maquina apagada de la corriente ya que los motores llevan un bobinado que se carga y puede transmitir corriente indeseadas a la placa o display que pueden causar daños en los materiales.

Por debajo de la cama caliente se introducir una capa de corcho que cumpla la función de aislante térmico para alcanzar la temperatura más rápido y mantener estable durante la impresión y así evitaremos que se despegue la pieza (warping).

## 8.4. Conclusiones

Al terminar las calibraciones es recomendable pulsar el botón de reset que se encuentra en la placa controladora, con el fin de reiniciar la impresora rápidamente, sin tener que desconectar la alimentación de la misma.

Comprobar el estado de tensión de las correas y lubricación de los rodamientos, para conseguir buena adherencia de la primera capa de impresión y buenas impresiones se recomienda lo siguiente:

1. Mantener las condiciones idóneas de ambiente exterior y tener la impresora lo mejor nivelada en mueble.
2. Verificar el estado del bloque calentador reajustando los prisioneros si fuese necesario que fijan la resistencia de cartucho y el termistor, además se recomienda aislar y reforzar la unión con cinta Kapton.
3. Comprobar que no quedan restos de impresiones o impurezas de algún tipo en la boquilla, liberar el balero de presión de la polea que tracciona el material y empujar con cuidado observando que el material sale sin dificultad.  
Si la boquilla está obstruida podemos desmontarla del bloque calentado y limpiaremos con acetona y las agujas o brocas de 0,4 mm que es la boquilla más común.
4. Por último antes de que comience la impresión se recomienda la aplicación de laca de adhesión (en su defecto laca Nelly), pegamento en barra o incluso colocar cinta Kapton que para la impresión de ABS existe una disolución de este material en acetona, también conocido como zumo de ABS que se puede preparar y tener cerca de la impresora con ello evitaremos el warping, y poder “soldar piezas” aplicando la disolución en forma de pegamento o aplicar en forma de tratamiento superficial con mucha precaución ya que la acetona es un material tóxico quedando piezas brillantes y con un buen acabado superficial.

Para finalizar este capítulo se recomienda realizar de las primeras impresiones un cubo de calibración, se trata de un cubo de 20 mm de lado, con el fin de cuando termine la impresión realizar mediciones con un pie de rey en sus aristas verificando que las dimensiones son las correctas y no existen desajustes de calibración e incluso fallos de impresión en las diferentes coordenadas del sistema de posicionamiento, esquinas y acabado superficial de la pieza.



Figura 84: Medición del cubo de calibración



# CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

## 9.1. Conclusiones y motivaciones del trabajo

Como conclusión del presente Trabajo Final de Grado se puede destacar:

- Como comienzo de este TFG, el objetivo principal era el diseño de un extrusor con doble hotend, es decir, un extrusor capaz de imprimir dos materiales como por ejemplo ABS y Filaflex.
- En una reunión con el tutor, se decidió que como el mundo de la impresión 3D está en continuo avance, la idea anterior se quedaba anulada por los motivos citados en el CAPITULO 4: Diseño del extrusor multifilamento.  
Luego la idea fue el diseñar un sistema de impresión que fuese capaz de intercambiar entre un material u otro sin intervenir el operario (sistema de abastecimiento de material mixto con extrusor multimaterial).
- Por último cuando ya se tenía el sistema mecánico de extrusión multimaterial diseñada y prácticamente montada en la impresora se verifico que el firmware y software de control de la impresora no funcionaba correctamente, por lo que se decidió el diseño de una impresora 3D con doble extrusor independiente en el eje X.
- Después de ensamblar todo el sistema y acondicionarlo de los componentes y software de control se verifica quedando reflejado en el CAPITULO 8 las pruebas y experimentos realizados con la impresora 3D.

Para concluir a modo personal he de decir que he cumplido con mi motivación en la realización de este TFG, satisfaciendo lo requerido y aportando grandes conocimientos en ámbitos que hasta entonces desconocía como es el mundo de la impresión 3D, que cada día tendrá mayor auge. Además tengo los conocimientos para construirme una máquina de OPEN SOURCE, que es capaz de reproducir diseños en 3D realizados con software o descargarlos de internet. [20][21][22].

También se han reforzado los conocimientos en SolidWorks y se ha adquirido habilidades en el diseño y en manejo de grandes ensamblajes. Como diseñador industrial me siento atraído por el mundo de los plásticos y encuentro muy interesante la multitud de formas útiles que se puede conseguir con estos materiales.

Pienso que en un TFG se tiene que aprovechar la oportunidad de no solo realizar un proyecto académico, sino algo que vaya más allá y realmente se disfrute con ello, y sin duda no podía dejar pasar la oportunidad de montarme mi propia impresora 3D e imprimir mis propios



diseños de piezas. Además encuentro que el mundo de la impresión 3D es el futuro en muchos aspectos.

## 9.2. Líneas futuras de desarrollo

En este apartado del capítulo se exponen trabajos de futuro que se pueden desarrollar sobre la impresora con el fin de mejorar el sistema.

- **Lectura y control de la T<sup>a</sup> de la cámara caliente:** La cámara caliente que recoge la impresora, queda aislada de las condiciones exteriores pero a veces es interesante tener el conocimiento y control de la temperatura de su interior e incluso la renovación del aire, ya que el material puede crear un ambiente tóxico. También se le puede añadir luces de led y una cámara, con el fin de grabar y poder visualizar con mayor facilidad el proceso de fabricación para corregir errores durante el proceso.
- **Cambio de 12V a 24V:** Si la impresora se desea tener largos periodo de funcionamiento, se debe tener en cuenta que los componentes electrónicos pueden alcanzar grandes temperaturas que reduzcan su vida útil, luego se plante la instalación del sistema a 24 V que trabajara más desahogado el sistema y consecuentemente se calienta menos.
- **Mejorar el software actual:** El controlador no se ha diseñado, sino que se adaptado uno existente, como objetivo sería el desarrollo que permite el funcionamiento de la impresora multimaterial con abastecimiento del material automático.
- **Instalación de placa Raspberry:** Se incorporará esta placa con el fin de poder interactuar con el sistema a través de conexión Wifi, y se con ello podremos controlar y visualizar mientras está en funcionamiento con una cámara.
- **The Palette, 3D Printing:** Un grupo de ingenieros han desarrollado una caja en la cual recibe la entrada de varios filamentos y dentro de la caja se selecciona el color o material deseado, tipo bowden. Este Sistema presenta la gran ventaja que se podrá implantar en cualquier tipo, marca y modelo de impresora 3D, para mayor información en [23].

Por último espero que se sigan desarrollando TFG e incluso introduciendo en el temario de asignaturas en la Escuela de Ingenierías Industriales relacionado con el mundo de la impresión 3D ya que está en continuo avance y es conveniente unirse a dicho avance que promete ocupar gran parte de la industria en el futuro.

A continuación se recomienda en enlace con la recopilación de los mejores documentos existentes sobre la tecnología de impresión 3D.[24]

Para concluir de modo general se citaran algunos de inventos tecnológicos más actuales existentes en el todo el mundo relacionado con la impresión 3D referenciado por en el documental de la Sexta [25], además del documental de CEDECOM [26], donde se explica la tecnología de impresión 3D en colaboración con Dr. Jesús Manuel Gómez de Gabriel.

- **Impresoras 3D en construcción (Albañiles del futuro):** La agencia espacial (ESA), con sede en Holanda, tiene el proyecto para explorar la Luna. Para el año 2018 se lanzara a la Luna una capsula, para el 2021 tendrán cuatro astronautas y para el 2025 se instalara una base lunar.

En la capsula lanzada cuando aterrice en la Luna se inflará uno tubos modulares formando una estructura inmensa.

Para proteger la estructura debido al a dificultad de transportar material a la Luna, se usaran unos robot (Centauro lunar) que controlan y dirigen incluso desde la base en la Tierra. Estos robots están dotados de unas impresoras 3D que usaran como material el regolito, polvo lunar y recubrirán la estructura hinchable.



- **Impresoras que imprimen moléculas vivas:** Empresa EE.UU que lleva el proyecto de fabricar carne de ternera sin tener que sacrificar al animal. Manteniendo todas sus propiedad generando moléculas en laboratorio que repliquen la carne.  
Es lo que también están trabajando los científicos, en fabricación de piel y órganos humanos.
- **La empresa Stratasys ubicada en Tela vi (Israel), tiene la tecnología de impresión 3D más avanzada en el mundo.** Están desarrollando nuevos materiales que son sensitivos a la luz azul y ultravioleta, varían su estado de líquido a sólido en segundos. Poseen la única impresora capaz de reproducir un objeto final con todas sus cualidades, combinando materiales, colores y proporciones.
- **Impresoras 3D capaz de realizar casi todos los procesos de una fábrica, prendas de ropa con materiales flexibles, prótesis, productos comestibles, piezas metálicas.**
- **Reproducen un tumor impreso en escala real de un órgano:** En el Hospital de Sant Joan De Déu (Barcelona).

En el siguiente enlace se puede ver algunas de las leyendas urbanas en torno a la impresión 3D [27].



# CAPÍTULO 10: PLIEGO DE CONDICIONES TECNICAS

## 10.1. Introducción

En este capítulo se analizan los posibles riesgos que pueden afectar a la viabilidad del proyecto. Además se indican algunos consejos de uso y mantenimiento que requiere la máquina para que su funcionamiento sea el correcto y se obtenga la durabilidad deseada. Por último se indica un plan de contingencias, donde se detalla el protocolo en caso de fallo y un pan de respaldo.

## 10.2. Mantenimiento y consejos de uso

La impresora 3D como toda máquina requiere un mantenimiento, aunque sea intuitivo a continuación se detallan algunos consejo de mantenimiento y uso adecuado.

- **Varillas lisas cromadas y husillos:** Es importante el mantener lubricadas las varillas y husillos ya que son elementos que se ven sometidos a solicitudes mecánicas, el tiempo de lubricación depende del uso que se le dé, a los factores ambientales que se ve sometido, posiblemente no se requiera lubricarlas con frecuencia pero se recomienda un limpieza del polvo y lubricación una vez al mes aproximadamente.
- **Correas dentadas:** Al igual que las varillas cromadas y el husillo, las correas dentadas son los elementos responsables del movimiento de los extrusores a lo largo del eje x. Por ello han de tener unas tareas de mantenimiento en las que se tendrá especialmente cuidado en el tensado de la correa, que no debe ser excesivo pero al tratarse de un elemento flexible con el tiempo ceden y pueden destensarse, además se visualizara su estado por si se encuentra agrietada o con sus dientes en mal estado se recomienda la sustitución para un correcto funcionamiento.
- **Cama caliente o bandeja de deposición:** La bandeja sobre la cual se deposita el material debe estar totalmente horizontal, con una tolerancia admisible de diez micras. En el caso no cumplirse la calidad de los prototipos se verá afectada y los espesores de las capas no serán los idóneos. Debemos asegurar que el espejo de la cama tiene una capa de laca o solución de ABS con acetona que garantizará la adhesión de la primera capa de impresión, siendo esta la más crítica en la impresión, con ello se evitara el fenómeno conocido como warping.  
Además se recomienda que la cama caliente se enfrié por debajo de los 30°C antes de retirar la pieza, con ello evitaremos posibles roturas, mal formaciones o quemaduras a la hora de despegar la pieza que nos podremos ayudar con una espátula.



- **Extrusor:** Antes de cada impresión es aconsejable verificar que el extrusor se encuentra a ~10 mm del eje Z, ya que al calentar el filamento y estar en posición homing este filamento se acumula en la punta de la boquilla y por algún fallo el material puede enfriarse y endurecerse hasta llegar a obstruir la boquilla. Con el programa Cura podemos usar la aplicación bed leveling wizard que nos ayudara a obtener la calibración deseada. Si el extrusor se obstruye calentaremos a máxima potencia para conseguir fundir el material obstruido, sino desmontaremos el extrusor y hotend hasta conseguir desatornar la obstrucción con ayuda de un objeto punzante muy fino y acetona. Se tendrá especial cuidado con la parte inferior del extrusor que puede alcanzar altas temperaturas, luego se recomienda manipular cuando la temperatura haya descendido hasta temperatura ambiente.
- **Velocidad, temperaturas y tiempo impresión:** Son los parámetros más importante en la impresiones, luego se recomienda usar los parámetros recomendado por el fabricante de material, como normal general no se debe imprimir a velocidades más altas de los 90 mm/s, ya que se pueden obtener malos resultados y acabados de los prototipos. Se debe tener en cuenta que antes de imprimir tanto el hotend como la cama caliente deben alcanzar la temperatura idónea según el material. Por último se debe tener en cuenta que para impresiones largas los componentes electrónicos pueden sobrecalentarse luego requieren un sistema de refrigeración o reposo periódico hasta volver a temperaturas aceptables.
- **Atmosfera térmica:** Al encontrarse la impresora encapsulada en un recinto casi hermético que garantiza la temperatura del sistema y evita la entrada indeseada de corrientes de aire y partículas de polvo, al imprimir sobre todo ABS que se trata de un material plástico derivado del petróleo se emiten vapores que en concentraciones altas puede ser toxico para la salud. Luego para ello se recomienda la instalación de un sistema de renovación de aire o abrir la puerta unos minutos antes de entrar en contacto con su ambiente interior.

### 10.3. Seguridad en el montaje y protocolo de actuación en caso de fallo

Durante el montaje se debe extremar precaución y seguir las recomendaciones citadas en los capítulos anteriores. Además se recomienda a la hora de soldar o manipular el soldador para embutir tuercas evitar las quemaduras y realizar las tareas en un ambiente de trabajo adecuado.

Además se debe extremar cierta precaución en la conexión electrónica de todos los dispositivos, manteniendo las polaridades y voltajes que requiere el sistema.

Es muy importante no manipular la impresora cuando esté trabajando ya que podemos forzar los elementos mecánicos y como ya se citó anteriormente existen elementos a altas temperaturas que pueden provocar quemaduras. Para ellos se recomienda en todo caso desconectar la máquina de la corriente eléctrica y esperar que se enfríe para poder



manipularla.

# CAPÍTULO 11: MEDICIONES Y PRESUPUESTO

## 11.1. Introducción

En este capítulo del proyecto se realizará un estudio económico que servirá para que el lector tenga las referencias acerca de dónde encontrar todo los materiales y componentes necesarios para poder construir una impresora 3D, así mismo como el presupuesto estimado de la misma.

Se podría hacer muchos presupuestos y todos de ellos diferentes, en función de los proveedores, marcas, calidades. También se debe tener en cuenta que una compra conjunta aumentaría la cantidad de productos lo que disminuirá el coste individual. En nuestro coste del material lo compararemos con un kit original de PRUSA.

Además se añadirá el tiempo invertido en el desarrollo y montaje del sistema. Por último se hará la suma del desglose del presupuesto, dando un presupuesto estimado.

## 11.2. Proveedores

Referente a los proveedores debemos tener en cuenta que casi todo tipo de componentes se pueden comprar a través de internet desde cualquier país, se ha de destacar que la medida que el país se encuentre más alejado de nosotros tardará más tiempo el envío, gastos de aduanas y transporte. Aunque también se ha de destacar que los proveedores más baratos aunque no siempre las mejor calidades vienen del país de China. Se tendrá en cuenta que casi todos los componentes existen de marca original y otros de marca compatible que cumple su funcionalidad pero suelen dar menor fiabilidad.

Algunas de estas páginas son: Aliexpress, EBay.

A nivel Europeo, uno de los principales proveedores y que ofrece una gran gama de artículos a buen precio es Reprap World, también podemos contratar información con otros proveedores.

Respecto al material de perfilaría metálica y sus accesorios existen varios proveedores en los que destacaremos Motedis[28], Rationalstock[29], Moebyus[22] y Createc3D[30] donde también podremos comprar algunos materiales de ferretería necesario, además nos apoyaremos en las ferreterías locales y tiendas de robótica, neumática y electrónica. También se destacará que el material de ferretería y carpintería se puede obtener en grandes superficies como Leroymerlin[31], donde encontraremos precios muy atractivos. Por último, a continuación se muestra una lista de las tiendas más influyentes de impresión 3D en el territorio nacional.



Proveedor	Localización	Kit completos	Piezas impresas	Electrónica	Motores	Fusores y extrusores	Mecánica en general	Consumible	Servicio de impresión	Cursos
3DCPI	Barcelona	✓						✓	✓	
3DEspaña	Madrid	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
3Dinvasion	Canarias	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3DMatic	Valencia	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3DoRobotics	Valladolid	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3DPrinters-shop	Málaga	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3DSmart	Jaén	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BCN Dynamics	Barcelona	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Chupacabras3D	Barcelona	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
CloneMaker3D	Zaragoza	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
Createc3D shop	Granada	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
Domo Tek	San Sebastián							✓	✓	
FFF World	Álava							✓		
Filament2print	A Coruña	✓						✓	✓	
GarageDays3D	Soria		✓	✓ ✓			✓	✓	✓	
Gades3D	Cádiz	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Iberorobotic shop	Santander	✓		✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
iFusionshop	Tarragona	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Impresoras3DLowCost	Córdoba	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
Iniciativas3D	Córdoba/Málaga	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	
KitPrinters3D	Madrid	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
LemonStore	Murcia	✓						✓		
Madrid3DPrint	Madrid	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
MalagaMakers	Málaga	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MakeGal	S.Compostela	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPrime	Madrid		✓	✓ ✓	✓	✓	✓			
Nativa3D	Cádiz	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
OrballoPrinting	Vigo	✓	✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓		
PlasticDreams	Murcia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PrintedDreams	Madrid/Cartagena							✓	✓	✓
Printhatshit	Barcelona	✓		✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reclone3D	Málaga		✓	✓ ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
StaticBoard	A Coruña		✓							



**Europa:**

- Mendel parts (Holanda)
- <http://www.xyzprinters.com/> (Holanda)
- arcol.hu (Hungria)
- German RepRap fundation (Alemania)
- Reprapsource.com
- Reprap world (Holanda)
- Future Bits La tienda de Kliment! (Alemania)
- Hotends
- Orbi-tech. Plástico (Alemania)
- Reprap-3D-printer (Francia)

**EEUU / América (ojo aduanas)**

- Makergear (EEUU)
- Lulzbot (EEUU)
- Gala automation (EEUU)
- techpaladin (EEUU)
- CentralReprap
- Ultimachine (EEUU)
- MakerMex (Mexico)
- 3DM (Mexico) Impresoras 3D RepRap al Mejor Precio de Mexico. Entrega Inmediata, consumibles y componentes.
- Impresoras 3D en Mexico (CIUDAD DE MEXICO) D.F. Kit Prusa i3 Steel con marco en acero estructural, varillas acero inoxidable.

**Otros:**

- 3D Acessories Hub .Una ventanilla única para todos los componentes de RepRap y las impresoras 3D
- <http://www.goodluckbuy.com/>. Tienda en china donde venden motores, varillas roscadas...
- Futurlec Electrónica en general
- Tayda Electronics Electrónica en general



### 11.3. Materiales y componentes

A continuación se expone una lista de todos los materiales necesarios y componentes, que se ha usado en cada capítulo, con los proveedores y precios en cada componente.

#### 11.3.1. Mueble y cámara caliente

Para el perfil ranurado se puede comprar los tramos de la longitud deseada, o bien comprar toda la barra de 3 m o 6 m. Algunos elementos como tornillería se compraran en una cantidad de 30 unidades aproximadamente luego su coste es algo inferior.

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
13209973	Tablero de aglomerado con acabado en melanina de 4 cantos de 1,6 mm, en blanco	Leroymerlin	2,52 m <sup>2</sup>	14,71 €/m <sup>2</sup>	37,07 €
13609715	Rueda fija con freno de nailon 125 mm	Leroymerlin	4 Uds.	32,25 €/Ud	129 €
14939442	Bisagra llave 94 de 26 mm con regulación	Leroymerlin	2 Uds.	1,85 €/Ud	3,70 €
13263411	Bisagra de doble hoja de 60 x 50 mm cincado	Leroymerlin	2 Uds.	1,99 €/Ud	3,98 €
16310455	Tirador abre puerta de ABS silver	Leroymerlin	1 Ud.	0,33 €/Ud	0,33 €
13674724	Cesta rejilla lateral 28 x 15 x 51 cm	Leroymerlin	1 Ud.	22,59 €/Ud	22,59 €
16155811	Burlete de silicona transparente 1 mm	Leroymerlin	20 m	1,62 €/m	32,40 €
019586	Perfil 20x20 TIPO-B ranura 5 mm	Motedis	10 m	3,00 €/Ud	30 €
-	Cubo Conector 20 tipo-I ranura 5	Motedis	8 Uds.	3,59 €/Ud	28,72 €
096204	Tuerca lisa ranura 5 Tipo I M4	Motedis	16 Uds.	0,55 €/Ud	8,80 €
095012	Bisagra 20x20 ligera tipo-I ranura 5	Motedis	2 Uds.	2,80 €/Ud	5,60 €
681-637	Plancha de policarbonato compacto de 3 mm	RS-Pro	3,50 m <sup>2</sup>	89,57 €/m <sup>2</sup>	313,51 €
FP44960	Tirafondos de cabeza avellanada 3 mm	Rationalstock	10 Uds.	0,0111 €/Ud	0,111 €
FP100724	Tornillo M4 - 6mm cabeza avell. hex. (ISO 10642)	Rationalstock	16 Uds.	0,0175 €/Ud	0,28 €
PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)					616,10 €

#### 11.3.2. Estructura metálica

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
019597	Perfil 30 TIPO-B ranura 8 mm	Motedis	3,4 m	5,96 €/m	20,26 €
099I9008	Conector interior de ranura para perfil 30	Motedis	8 Uds.	1,53 €/Ud	12,20 €
30-VL-88	Escuadra exterior	Motedis	2 Uds.	1,50 €/Ud	3 €
0810RS02	Adaptador angular 45º conector perfil 30	Motedis	2 Uds.	5,73 €/Ud	11,46 €
091266	Tapa embellecedor perfil 30x30	Motedis	2 Uds.	0,56 €/Ud	1,12 €
096H08515	Tuerca cabeza martillo M4	Motedis	10 Uds.	0,78 €/Ud	7,80 €
FP41716	Tornillo M4 x 10mm (ISO 4762)	Rationalstock	10 Uds.	0,0114 €/Ud	0,114 €
PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)					55,95 €



### 11.3.3. Ejes z

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
-	Varillas lisas M8 x 400 mm	Motedis	2 Uds.(0,80 m)	7,345 €/m	5,87 €
<b>096H08515</b>	Tuerca cabeza martillo M4	Motedis	4 Uds.	0,78 €/Ud	3,12 €
<b>THSL400</b>	Husillo de rosca trapezoidal a derecha TR 8x1,5R Longitud = 440 mm + tuerca bronce	Createc3D	2 Uds	16,85 €/m	33,70 €
<b>Bry2</b>	Acopladores flexibles de 5 a 8 mm	Moebyus	2 Uds.	2,96 €/Ud	5,92 €
<b>Otr006</b>	Motor Nema 17 Largo (42BYGHW811)	Moebyus	2 Uds.	12,99 €/Ud	25,98 €
<b>Bry50</b>	Final de carrera	Moebyus	1 Ud.	0,99 €/Ud	0,99 €
<b>FP46053</b>	Arandela M3 (ISO 10669)	Rationalstock	8 Uds.	0,013 €/Ud	0,0104 €
<b>FP41716</b>	Tornillo M4 x 10 mm (ISO 4762)	Rationalstock	4 Uds.	0,0094 €/Ud	0,0376 €
<b>FP41706</b>	Tornillo M3 x 10 mm (ISO 4762)	Rationalstock	8 Uds.	0,0111 €/Ud	0,0888 €
PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)					<b>75,71 €</b>

### 11.3.4. Eje x doble extrusor

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
-	Varillas lisas M8 x 440 mm	Motedis	2 Uds.(0,88 m)	6,13 €/m	5,39 €
-	Polea dentada GT2-16 eje 5 mm	Motedis	2 Uds.	2,09 €/Ud	4,18 €
<b>Bry90</b>	Rodamiento lineal Mod: LM8UU	Moebyus	10 Uds.	0,95 €/Ud	9,50 €
<b>Bry86</b>	Rodamiento F623ZZ Dim: 10 mm	Moebyus	4 Uds.	0,99 €/Ud	3,96 €
<b>Bry40</b>	Correa dentada GT2 1 m	Moebyus	1 Ud.	2,19 €/Ud	2,19 €
<b>Otr005</b>	Motor Nema 17 corto (42BYGHW609)	Moebyus	2 Uds.	10,99 €/Ud	21,98 €
<b>Bry50</b>	Final de carrera (end-stop)	Moebyus	2 Uds.	0,99 €/Ud	1,98 €
<b>FP44621</b>	Tuerca autoblocante M3 (ISO 10511)	Rationalstock	2 Uds.	0,0105 €/Ud	0,021 €
<b>FP46053</b>	Arandela M3 (ISO 10669)	Rationalstock	12 Uds.	0,013 €/Ud	0,156 €
<b>FP41715</b>	Tornillo M3 x 45 mm (ISO 4762)	Rationalstock	2 Uds.	0,0247 €/Ud	0,0494 €
<b>FP41710</b>	Tornillo M3 x 18 mm (ISO 4762)	Rationalstock	8 Uds.	0,0269 €/Ud	0,22 €
<b>FP41715</b>	Tornillo M2,5 x 5 mm (ISO 4762)	Rationalstock	4 Uds.	0,0156 €/Ud	0,0624 €
<b>FP061231</b>	Bridas	Rationalstock	12 Uds.	0,4787 €/Ud	5,74 €
PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)					<b>55,43 €</b>



### 11.3.1. Eje y

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
-	Varilla lisa M12 x 440 mm	Motedis	2 Uds.	5,88 €/m	11,76 €
-	Polea dentada GT2-16 eje 5 mm	Motedis	1 Ud.	2,09 €/Ud	2,09 €
-	Guías lineales 12mm	Motedis	4 Uds.	7,56 €/Ud	30,24 €
-	Soporte para eje M12	Motedis	4 Uds.	3,96 €/Ud	15,84 €
<b>096H08515</b>	Tuerca cabeza martillo M4	Motedis	10 Uds.	0,78 €/Ud	7,80 €
<b>019586</b>	Perfil 20x20 TIPO-B ranura 5 mm	Motedis	1 m.	3,00 €/Ud	3 €
<b>096204</b>	Tuerca lisa ranura 5 de M4	Motedis	16 Uds.	0,55 €/Ud	8,80 €
<b>093W202N05</b>	Escuadras interior para perfil 20x20	Motedis	4 Uds.	1,12 €/Ud	4,48 €
<b>LM12UU</b>	Rodamiento lineal Mod: LM12UU	Createc3d	4 Uds.	2,25 €/Ud	9 €
<b>Bry86</b>	Rodamiento 623ZZ Dim: 10 mm	Moebyus	2 Uds.	0,99 €/Ud	1,98 €
<b>Bry40</b>	Correa dentada GT2 1 m	Moebyus	1 Ud.	2,19 €/Ud	2,19 €
<b>Otr005</b>	Motor Nema 17 corto (42BYGHW609)	Moebyus	1 Ud.	10,99 €/Ud	10,99 €
<b>Bry50</b>	Final de carrera (end-stop)	Moebyus	1 Ud.	0,99 €/Ud	0,99 €
<b>FP44423</b>	Tuerca hexagonal M4 (ISO 4036)	Rationalstock	1 Uds.	0,0020 €/Ud	0,0020 €
<b>FP46054</b>	Arandela plana M4	Rationalstock	16 Uds.	0,0013 €/Ud	0,0208 €
<b>FP41722</b>	Tornillo M4 x 25 mm (ISO 4762)	Rationalstock	10 Uds.	0,0136 €/Ud	0,136 €
<b>FP41721</b>	Tornillo M4 x 20mm (ISO 4762)	Rationalstock	4 Uds.	0,0120 €/Ud	0,048 €
<b>FP41719</b>	Tornillo M4 x 16mm (ISO 4762)	Rationalstock	2 Uds.	0,0110 €/Ud	0,022 €
<b>FP41707</b>	Tornillo M3 x 12 mm (ISO 4762)	Rationalstock	8 Uds.	0,0099 €/Ud	0,0792 €
<b>FP41715</b>	Tornillo M2,5 x 5 mm (ISO 4762)	Rationalstock	2 Uds.	0,0156 €/Ud	0,0312 €
<b>PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)</b>					<b>109,50 €</b>



### 11.3.2. Extrusores

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
E3d175lite	Kit hotend 3D-V6 Volcano 1,75 mm	Createc3d	2 Uds.	38,50 €/Ud.	77 €
Turbi5015s	Ventilador de capa S5015	Createc3d	2 Uds.	4,10 €/Ud	8,20 €
Racor18	Adaptador neumático 1/8" PTFE 4mm	Createc3d	4 Uds.	1,50 €/Ud	6 €
Tuboptfe1,75	Tubo de teflón PTFE para 1,75 mm	Createc3d	100 mm.	0,85 €/Ud.	0,85 €
625zz	Rodamiento 625 ZZ	Createc3d	2 Uds.	0,60 €/Ud.	1,20 €
Bry101	Ventilador del extrusor 30 x 30 x 10 mm	Moebyus	2 Uds.	2,50 €/Ud	5,00 €
Otr005	Motor Nema 17 corto (42BYGHW609)	Moebyus	2 Uds.	10,99 €/Ud	21,98 €
Bry94	Sensor inductivo de nivelación	Moebyus	2 Uds.	4,99 €/Ud	9,98 €
Bry640	Resorte del extrusor	Moebyus	4 Uds.	0,45 €/Ud	1,80 €
Bry76	Polea con moleteado Mk2	Moebyus	2 Uds.	3,49 €/Ud	6,98 €
FP43812	Eje 5 x 16 SH (Vástago de M5 x 16 mm)	Rationalstock	2 Uds.	0,0154 €/Ud	0,0308 €
FP46055	Arandelas plana M5	Rationalstock	4 Uds.	0,0018 €/Ud	0,0072 €
FP27508	Tuerca cuadrada M3 (DIN 562)	Rationalstock	8 Uds.	0,1097 €/Ud	0,87 €
FP44422	Tuerca hexagonal M3	Rationalstock	10 Uds.	0,0016 €/Ud	0,094 €
FP46053	Arandela plana M3	Rationalstock	8 Uds.	0,0013 €/Ud	0,094 €
FP41715	Tornillo M3 x 40 mm (ISO 4762)	Rationalstock	4 Uds.	0,0204 €/Ud	0,081 €
FP41713	Tornillo M3 x 30mm (ISO 4762)	Rationalstock	4 Uds.	0,0180 €/Ud	0,072 €
FP41712	Tornillo M3 x 25 mm (ISO 4762)	Rationalstock	2 Uds.	0,0164 €/Ud	0,032 €
FP41711	Tornillo M3 x 20 mm(ISO 4762)	Rationalstock	12 Uds.	0,0142 €/Ud	0,170 €
FP41710	Tornillo M3 x 18 mm (ISO 4762)	Rationalstock	12 Uds.	0,0269 €/Ud	0,32 €
PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)					140,76 €



### 11.3.3. Filamentos

Aunque para el modelo final no se ha adoptado la solución de una tracción mixta, realizaremos el presupuesto de dicho sistema, ya que se implantara en cuanto el firmware esté disponible.

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€/Ud	Subtotal
A100	Bobina filamento ABS 1,75 mm	Createc3D	1 Ud.	19,95 €/Ud.	19,95 €
96474	Bobina filamento Filaflex 1,75 mm	PcComponentes	1 Ud.	29,95 €/Ud.	29,95 €
PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)					49,90 €

### 11.3.4. Electrónica y cableado

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
14131054	Listón de abeto 27 x 44 mm (Longitud 1 m )	Leroymerlin	1 Ud.	3,25 €/Ud	3,25 €
14562142	Fundas termo retráctiles para cables	Leroymerlin	1 Uds.	2,35€/Ud	2,35 €
12715101	Chapa de aluminio pulido brillante 500x500 mm	Leroymerlin	1 Ud.	13,45 €/Ud	13,45 €
15495631	Carril DIN simétrico en U perforado 500 mm	Leroymerlin	1 Ud.	3,76 €/Ud.	3,76 €
CR4025	Canaleta ranurada 40 x 25 mm (Longitud 2 m)	Solera	1 Ud.	6,65 €/Ud	6,65 €
Mega2560	Arduino Mega 2560	Createc3d	2 Uds.	21 €/Ud	21 €
Bry72	Tarjeta controladora Mod : Rumba V1.1	Moebyus	1 Ud.	135 €/Ud	135 €
A4988n	Controladores de motores con disipador A4988	Createc3d	6 Uds.	3,85 €/Ud	23,70 €
Mosfet	Mosfet IRLB8743PBF	Createc3d	4 Uds.	2,60 €/Ud	10,40 €
Bry93	Sensor inductivo de nivelación	Moebyus	2 Uds.	9,99 €/Ud	19,98 €
Bry28	Cama caliente Mk2A 200x300 mm	Moebyus	1 Ud.	39,98 €/Ud	39,98 €
Bry97	Termistor 100 K NTC Lineal	Moebyus	1 Ud.	1,99 €/Ud	1,99 €
Bry65	Pantalla de control LCD full graphic	Moebyus	1 Ud.	24,50 €/Ud	24,50 €
Bry53	Fuente de alimentación 12 V 30A 360W	Moebyus	1 Ud.	41,75 €/Ud	41,75 €
Bry60	Interruptor 240 v con toma y protección	Moebyus	1 Ud.	3,99 €/Ud	3,99 €
Otr008	Funda de nylon para cables (1m)	Moebyus	2 Uds.	1,49 €/Ud	2,98 €
Kit002	Kits de Cables	Moebyus	1 Ud.	10,95 €/Ud	10,95 €
PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)					365,68 €



### **11.3.5. Herramientas y accesorios**

Ref.	Descripción	Proveedor	Cantidad	€ / Ud	Subtotal
<b>FP100626</b>	Juego De Puntas de atornillar	Rationalstock	1 Ud.	16,92 €/m	16,92 €
<b>FP31156</b>	Alicates de punta	Rationalstock	1 Ud.	22,36 €/m	22,36 €
<b>FP21427</b>	Soldador Tipo Lápiz	Rationalstock	1 Ud.	42,77 €/Ud	42,77 €
<b>FP12690</b>	Hilo de estaño bobina 100 gr 1mm	Rationalstock	1 Ud.	4,92 €/Ud	4,92 €
<b>FP15442</b>	Mordaza de mesa	Rationalstock	1 Ud.	111,66 €/Ud	111,16 €
<b>FP04132</b>	Lima para metal	Rationalstock	1 Ud.	5,64 €/Ud	5,64 €
<b>Grasalit</b>	Grasa de litio	Createc3d	1 Ud.	1,50 €/Ud	1,50 €
<b>Funpack</b>	Pack de boquillas 1,75mm + llave	Createc3d	1 Ud.	45 €/Ud	45 €
<b>Bry37</b>	Cinta Kapton 210 mm	Moebyus	1 Ud.	32 €/Ud	32 €
<b>Bry41</b>	Destornillador cerámico	Moebyus	1 Ud.	2,99 €/Ud	2,99 €
<b>Bry22</b>	Brocas 0,4 mm (3 Uds.)	Moebyus	1 Ud.	3,90 €/Ud	3,90 €
<b>Bry27</b>	Calibre digital	Moebyus	1 Ud.	13,85 €/Ud	13,85 €
<b>Bry79</b>	Polímetro digital DT9205A-20A	Moebyus	1 Ud.	25,25 €/Ud	25,25 €
<b>Nelly600</b>	Espay adhesivo o Laca Nelly 600ml	Createc3d	1 Ud.	3,50 €/Ud	3,50 €
<b>PRECIO TOTAL + 21 % IVA (€)</b>					<b>331,76 €</b>

Además se ha hecho uso de taladro, fresadora para madera y algunas herramientas de corte como segueta, sierra,...

### **11.3.6. Conclusiones**

Los proveedores Rationalstock, Moebyus por compras superiores a 50 € no incluye tasas por el transporte a territorio nacional. El transporte de Motedis será de 20 € y el de Createc3D será de 6 €, con un tiempo estimado de entrega de 24/ 48 horas.

Luego se le debe añadir ciertos gastos de gestión al presupuesto, quedando una cantidad de:

<b>Mueble→</b>	<b>616,10 €</b>	<b>MIL OCHOCIENTOS EUROS CON NOVENTA Y TRES CENTIMOS DE EURO.</b>  <b>1800,83 €</b>
<b>Estructura→</b>	<b>55,95 €</b>	
<b>Eje Z→</b>	<b>75,71 €</b>	
<b>Eje x doble extrusor→</b>	<b>55,47 €</b>	
<b>Eje Y→</b>	<b>109,50 €</b>	
<b>Extrusores→</b>	<b>140,76 €</b>	
<b>Filamentos→</b>	<b>49,90 €</b>	
<b>Electrónica→</b>	<b>365,68 €</b>	
<b>Herramientas y accesorios→</b>	<b>331,76 €</b>	



### 11.3.7. Componentes imprimibles

En este apartado se analizaran los costes que supone la impresión de las piezas en una impresora 3D, en este caso las piezas se han imprimido en un modelo de PRUSA i3 MK2.

En primer lugar se presenta los datos del material empleado, el plástico es ABS.

Datos del material		Datos del coste de la energía	
Tipo de material	ABS	Precio KW/h	0,126 €
Peso de la bobina	1Kg		
Diámetro del filamento	1,75 mm		
Densidad del ABS	1,05 gr/cm <sup>3</sup>		
Volumen	0,96 cm <sup>3</sup> /gr		
Precio de la bobina	19,95 €/Ud		

Con el software CAD SolidWorks, donde se han dibujado todas las piezas imprimibles del proyecto, se ha calculado gracias al apartado “Propiedades físicas” del que dispone el programa y donde aparece el volumen (V) de cada sólido creado.

El tiempo (t) es el empleado por la impresora en imprimir cada componente individualmente, este valor lo proporciona el software Cura más un 20% de error en el tiempo estimado, se ha puesto calidad media de impresión y relleno completo.

Por tanto se muestra en cada fila el volumen y tiempo para cada pieza sin tener en cuenta la cantidad a fabricar. En la fila “Totales” aparecen sumados los datos de los volúmenes de todas las piezas a fabricar, teniendo en cuenta la cantidad de cada una de ellas. Igual que con el volumen sucede con los tiempos de impresión.

Los costes del plástico ABS y de la energía se han multiplicado por el número de piezas de cada fila.

Para realizar una estimación de la cantidad de energía que puede consumir el proceso de impresión de una pieza se van a tener en cuenta la potencia que ofrece la fuente de alimentación, 300 W, en nuestro caso no incluiremos la potencia del ordenador ya que los archivos Gcode se cargar a través de una tarjeta SD.

El coste que suponen los componentes imprimibles comparados con el total es mínimo. Si se calcula el porcentaje sobre el presupuesto material es aproximadamente el 1,15% el coste por este concepto. Aunque comparando un kits de piezas impresas que se venden en cualquier de los proveedores es casi 10 veces más caro que imprimirlas por nosotros mismo.



Pieza	Ud	V (mm <sup>3</sup> )	T(min) + 20 %	Coste ABS	Energía	Subtotal
<b>Soportes motor eje Z</b>	2	22053,62	216 min	0,461 €	0,136 €	1,194 €
<b>Soportes superior eje Z</b>	2	10476,08	103,2 min	0,219 €	0,065 €	0,568 €
<b>Soportes motores doble eje X</b>	2	53296,97	716,4 min	1,116 €	0,451 €	3,134 €
<b>Carros doble correa</b>	2	38929,25	409,2 min	0,815 €	0,257 €	2,144 €
<b>Cuerpo del extrusor</b>	2	40519,60	470,4 min	0,848 €	0,296 €	2,288 €
<b>Tapa cuerpo del extrusor</b>	2	13858,44	151,2 min	0,290 €	0,095 €	0,770 €
<b>Palanca de presión extrusor</b>	2	7995,35	80,4 min	0,167 €	0,050 €	0,434 €
<b>Adaptador de 1 filamento</b>	2	31658,31	292,8 min	0,066 €	0,184 €	0,500 €
<b>Tobera del extrusor</b>	2	4660,58	52,8 min	0,097 €	0,033 €	0,260 €
<b>Carro del eje Y</b>	2	29951,95	282 min	0,627 €	0,177 €	1,608 €
<b>Soporte motor eje Y</b>	1	8001,89	81,6 min	0,167 €	0,051 €	0,218 €
<b>Soporte polea eje Y</b>	1	10059,88	106,8 min	0,210 €	0,067 €	0,277 €
<b>Soportes Filamento brazo</b>	4	39252,94	522 min	0,822 €	0,328 €	4,600 €
<b>Soportes filamento</b>	4	9374,34	102 min	0,196 €	0,064 €	1,040 €
<b>Caja pantalla LCD</b>	1	19117,96	321,6 min	0,400 €	0,202 €	0,602 €
<b>Tapa de caja LCD</b>	1	11405,21	106,8 min	0,238 €	0,067 €	0,305 €
<b>Tapa perfil 30x30</b>	2	2222,17	21,6 min	0,046 €	0,013 €	0,118 €
<b>Tapa perfil 20x20</b>	4	839,87	9,792 min	0,017 €	0,006 €	0,092 €
<b>PRECIO TOTAL</b>						<b>20,152 €</b>

#### 11.4. Mano de obra directo

Para ello se ha multiplicado las horas dedicadas al proyecto por un coste de 25 €/ hora de taller y 15 €/hora de CAD.

Se ha empleado unas 30 horas aproximadas para su montaje y 200 horas de CAD.

El valor de total de la mano de obra se estima en:

**NOVECIENTOS SESENTA Y CINCO EUROS (965 €)**

#### 11.5. Presupuesto general

El presupuesto total general suma la cantidad de

Impresora de doble extrusor → 1800,83 €	20,15 €
Piezas imprimibles	20,15 €
Mano de obra →	965,00 €

**DOS MIL SETECIENTOS OCHENTA Y CINCO CON NOVENTA Y OCHO CENTIMOS DE EURO.**

**2785,98 €**

#### 11.6. Conclusiones

Como conclusiones se ha de destacar que el precio en de un impresora de este tipo, sin mueble ni cámara caliente asciende al precio de 3000 € aprox.



# CAPÍTULO 12: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

**PLANO 01: ESTRUCTURA Y CHASIS**

**PLANOS 02-05: PIEZAS DEL EJE Z**

**PLANOS 06-09: PIEZAS DEL EJE X**

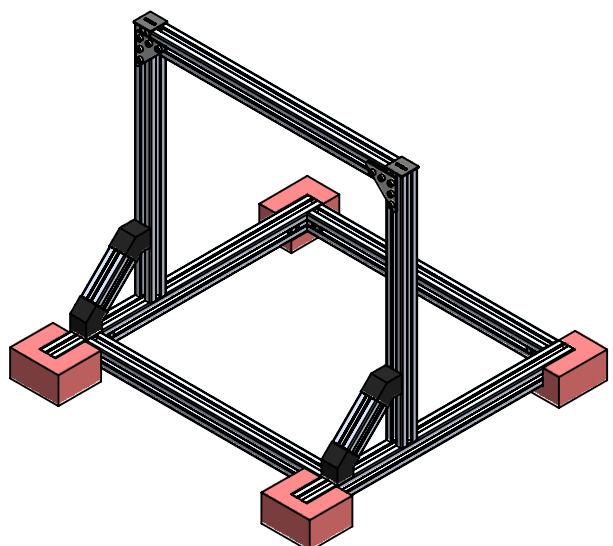
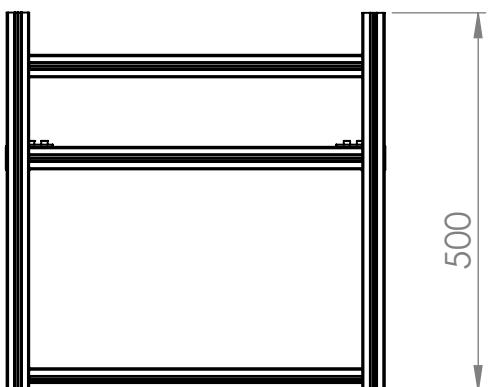
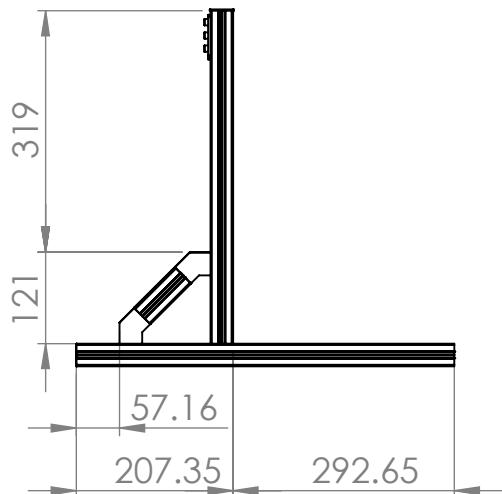
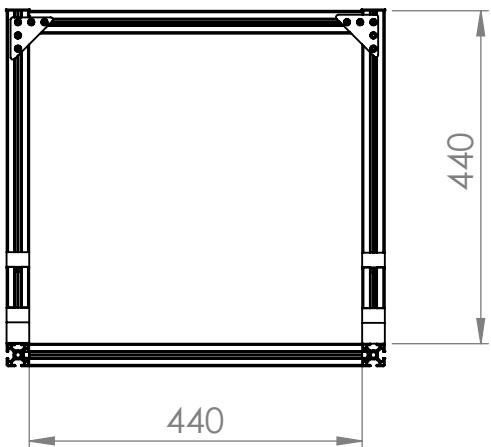
**PLANOS 10-12: PIEZAS DEL EJE Y**

**PLANOS 13-16: EXTRUSOR**

**PLANOS 17-18: SOPORTES FILAMENTOS**

Grado en Ingeniería Mecánica

D. CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA 74936437-E



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
**TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)**

Diseño y construcción de impresora de doble extrusor independiente multmaterial

N.º DE DIBUJO

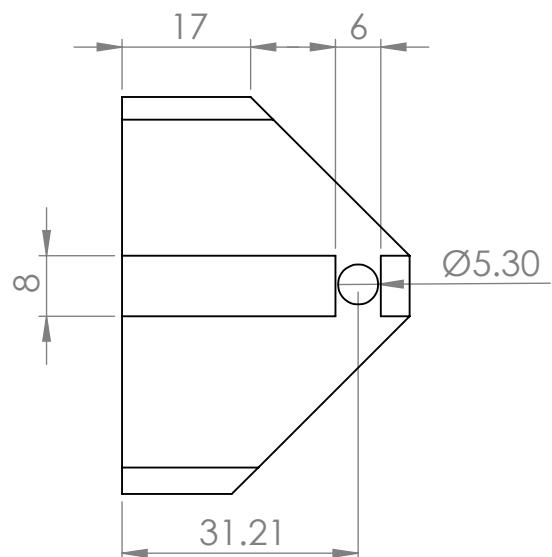
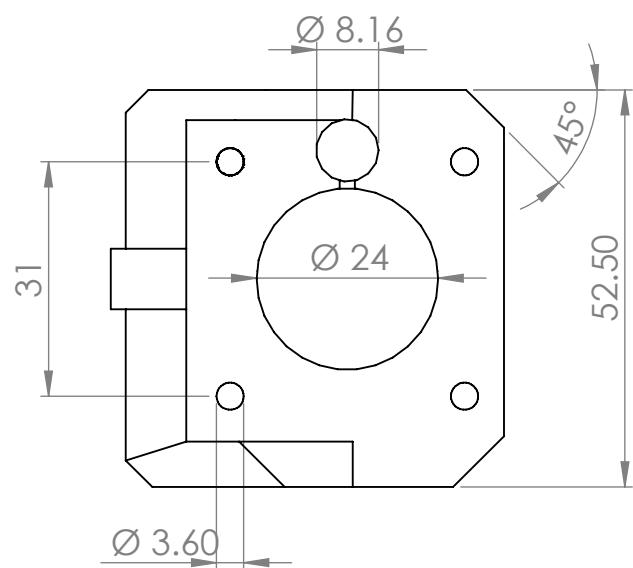
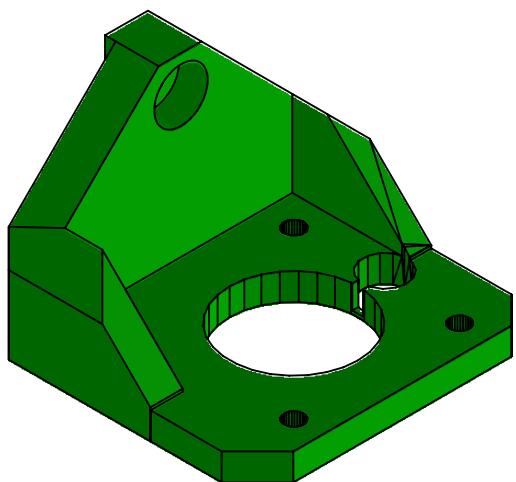
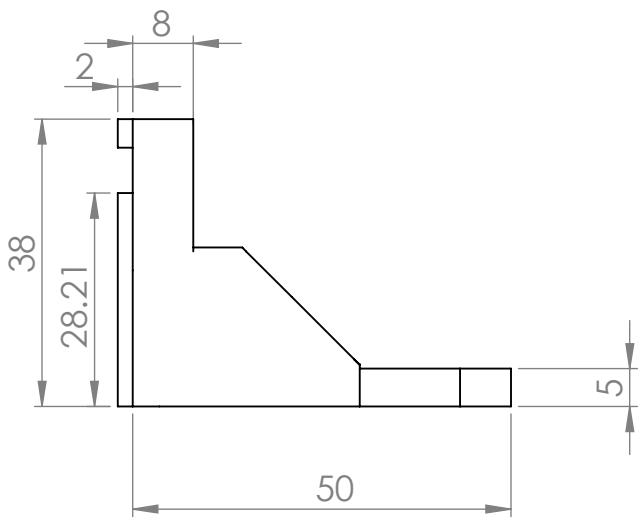
**Plano de la Estructura-Chasis**

A4

Cotas en mm

ESCALA: 1:10

HOJA 01 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	74936437-E	FIRMA	FECHA
DIBUJ.					30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multimaterial

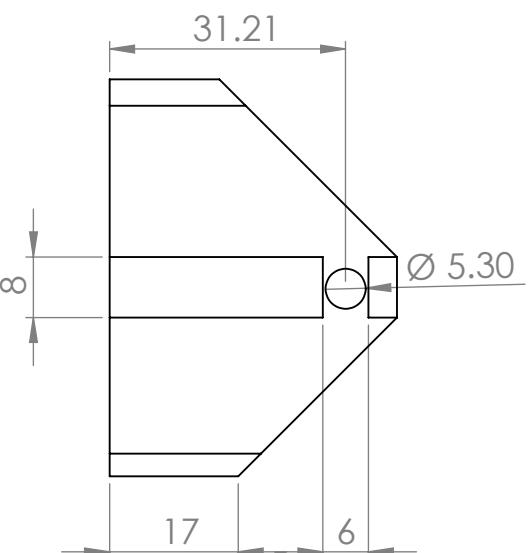
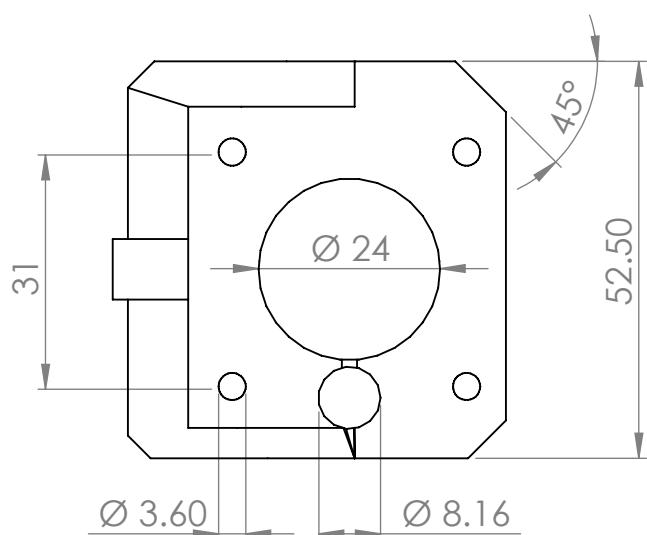
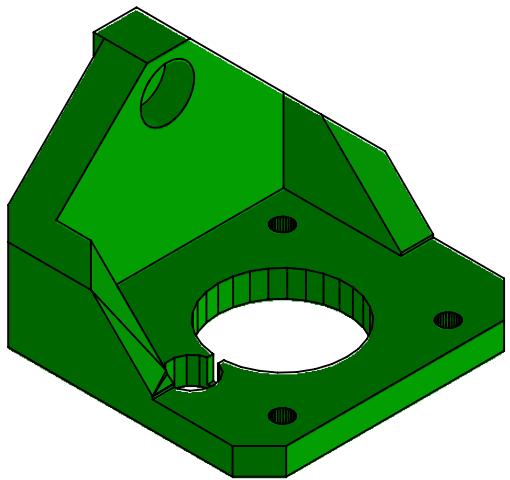
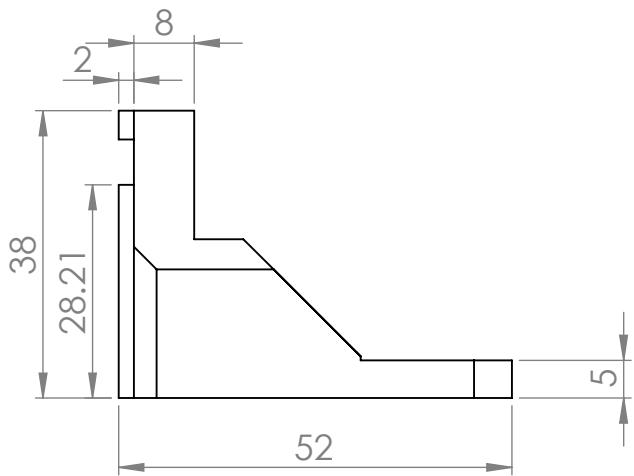
N.º DE DIBUJO

Eje z: Soporte base motor drch

A4

ESCALA:1:1

HOJA 02 DE 18



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

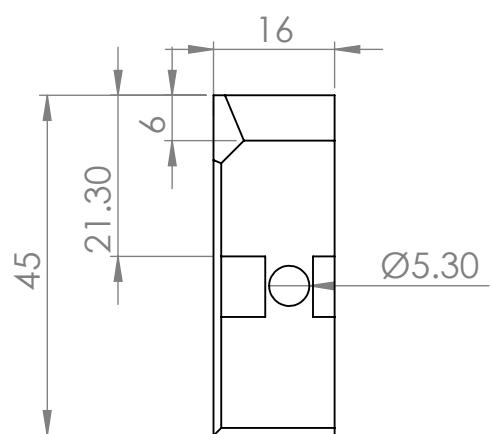
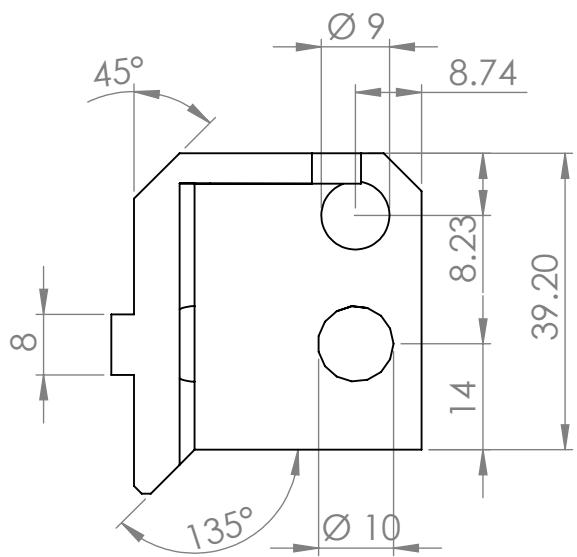
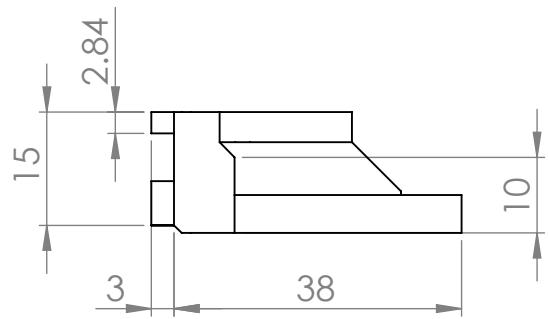
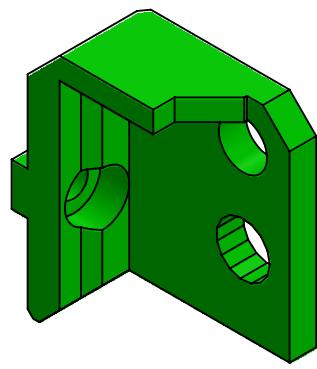
N.º DE DIBUJO

Eje z: Soporte base motor izq

A4

ESCALA:1:1

HOJA 03 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	74936437-E	FIRMA	FECHA
DIBUJ.					30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

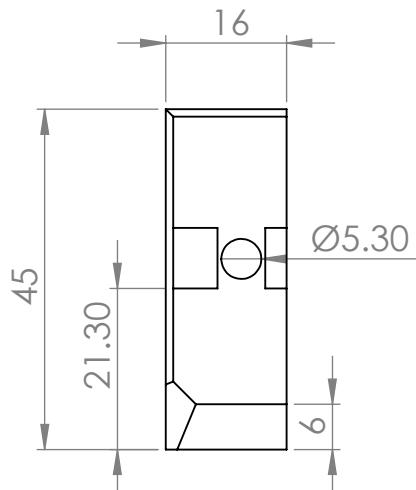
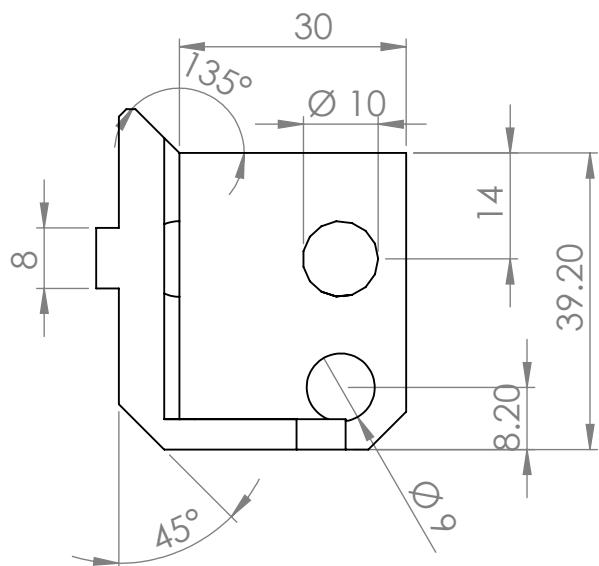
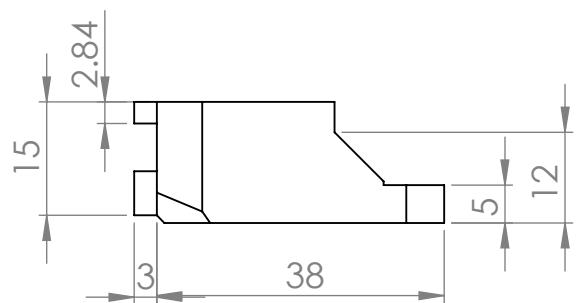
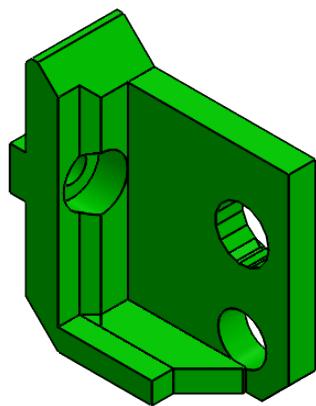
N.º DE DIBUJO

Eje z: Soporte superior drch

A4

ESCALA:1:1

HOJA 04 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.		74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

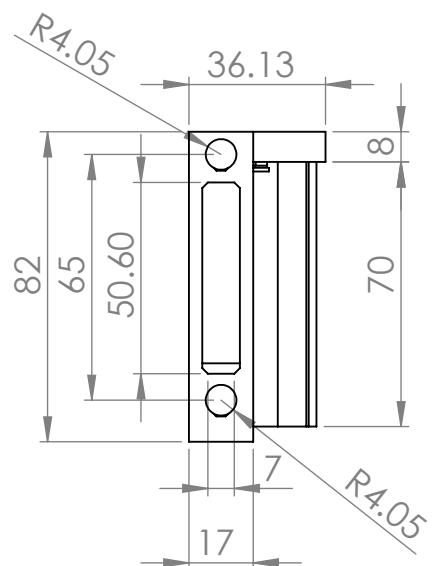
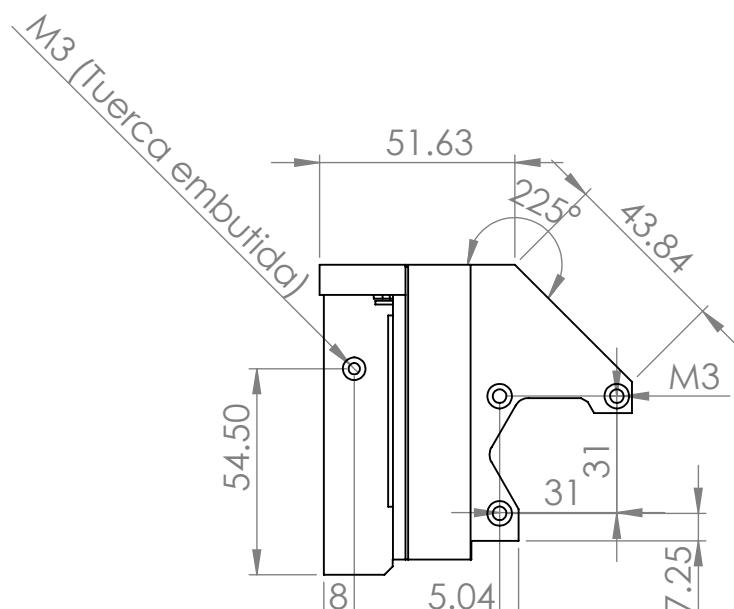
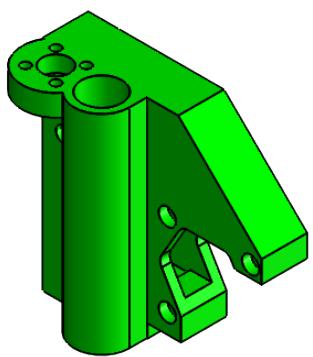
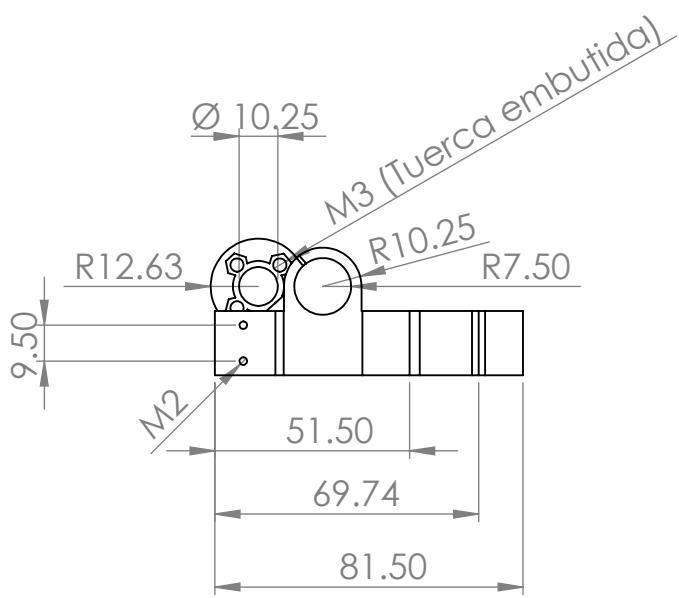
N.º DE DIBUJO

Eje z: Soporte superior izq

A4

ESCALA:1:1

HOJA 05 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.		74936437-E		30/01/2017

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

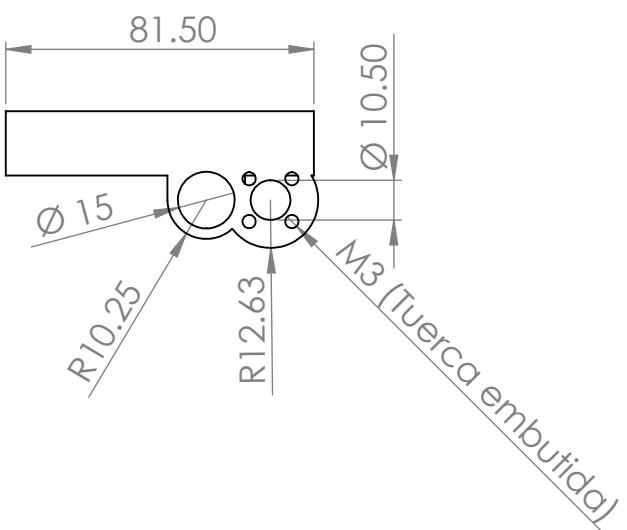
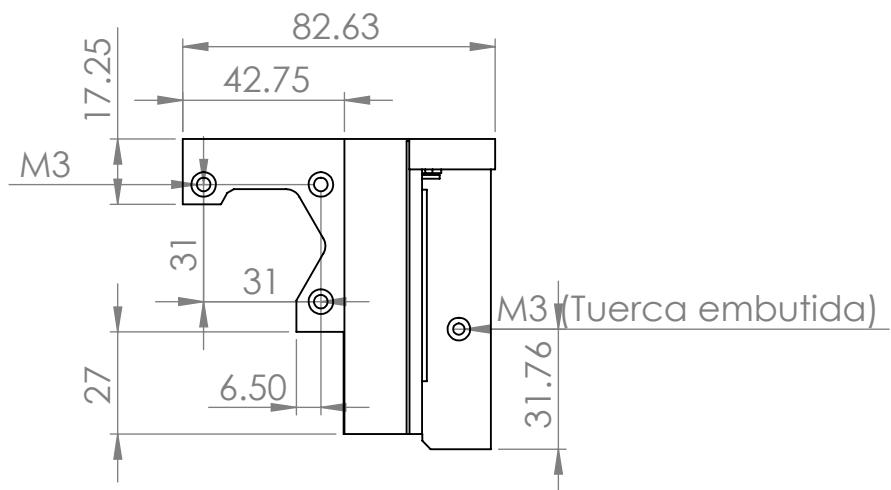
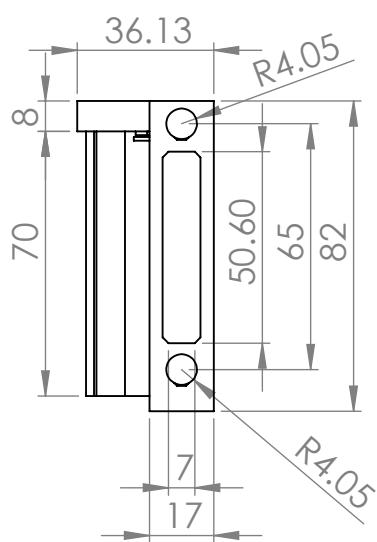
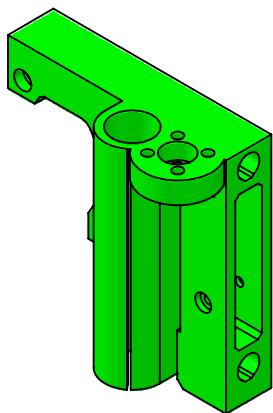
N.º DE DIBUJO

Soporte eje X motor drch

A4

ESCALA:1:2

HOJA 06 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	74936437-E	FIRMA	FECHA
DIBUJ.					30/01/2017

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

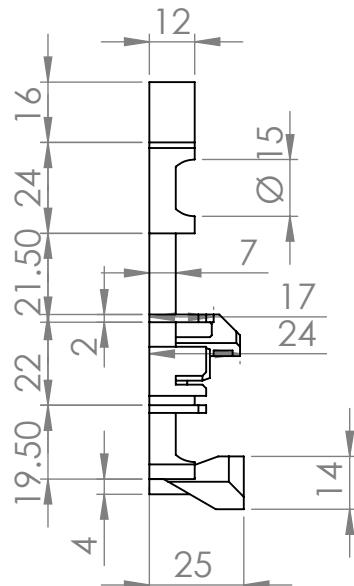
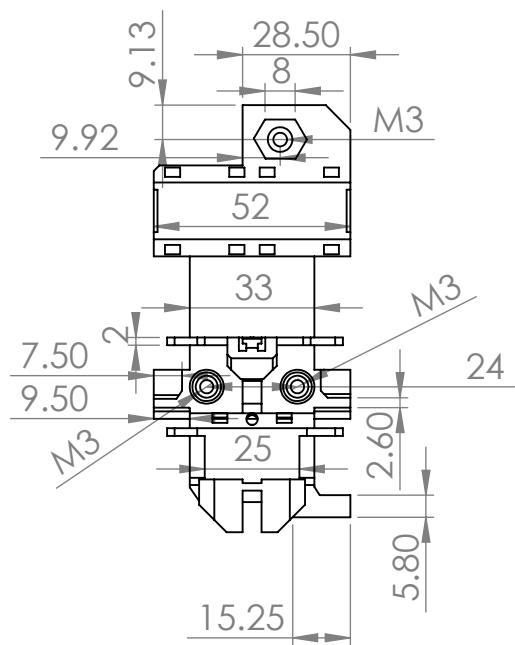
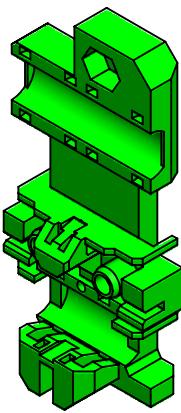
N.º DE DIBUJO

Soporte eje X motor izq

A4

ESCALA:1:2

HOJA 07 DE 18



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
**TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)**

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

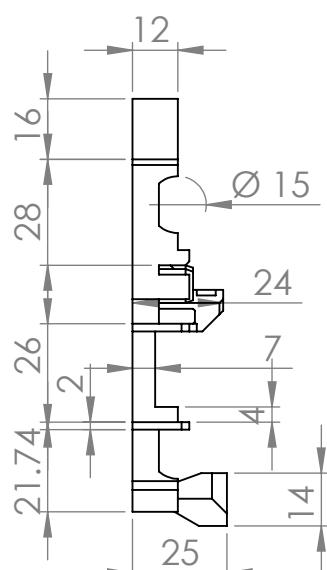
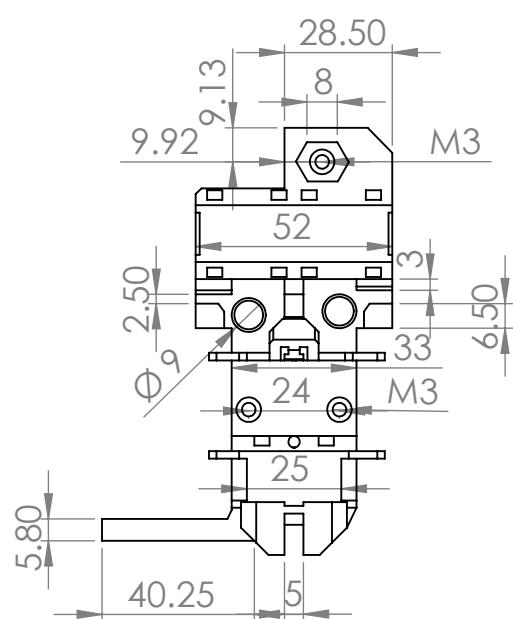
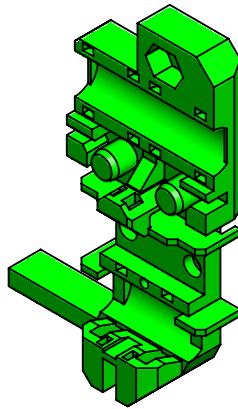
N.º DE DIBUJO

**Carro eje x extrusor izq**

A4

ESCALA:1:2

HOJA 08 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.		74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

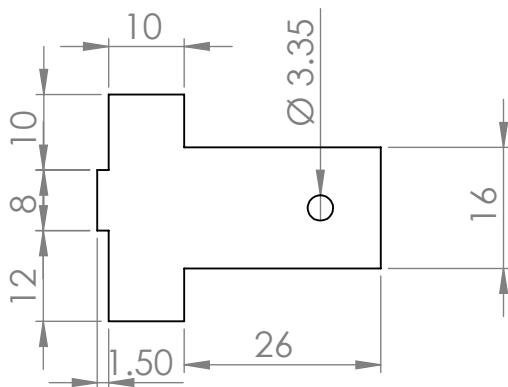
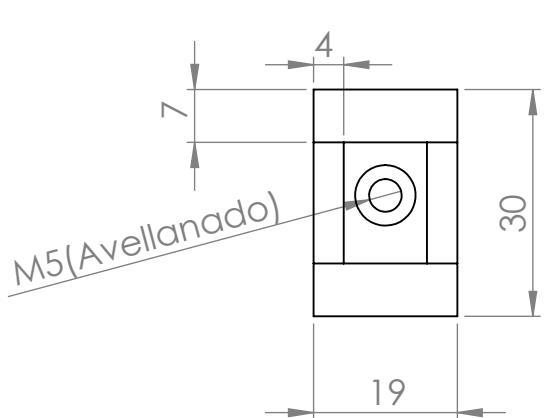
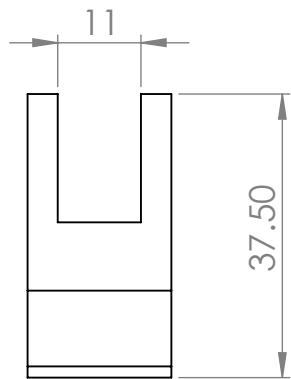
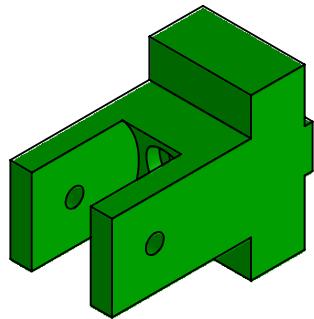
N.º DE DIBUJO

Carro eje x extrusor drch

A4

ESCALA:1:2

HOJA 9 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	74936437-E	FIRMA	FECHA
DIBUJ.					30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

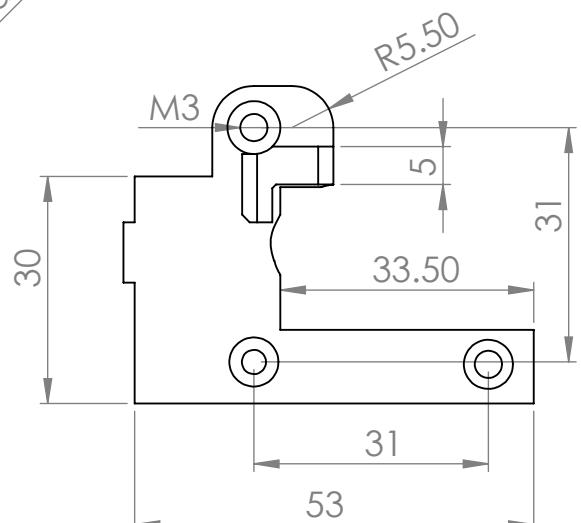
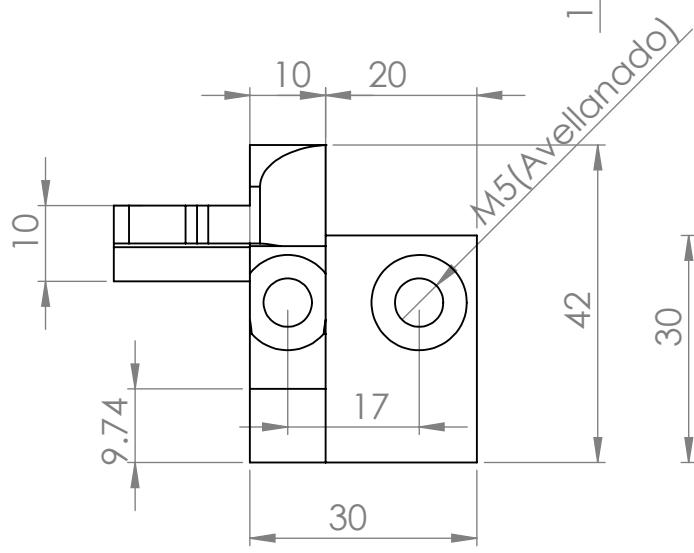
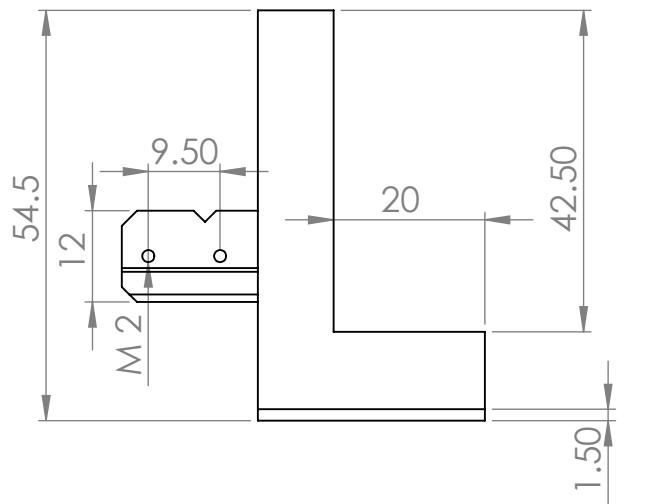
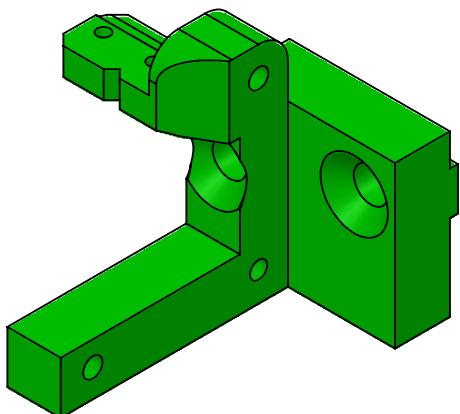
N.º DE DIBUJO

Soporte polea eje Y

A4

ESCALA:1:1

HOJA 10 DE 18



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

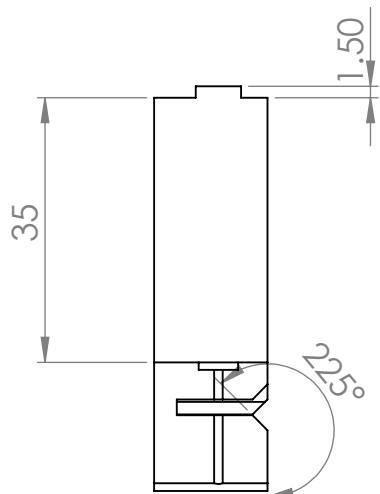
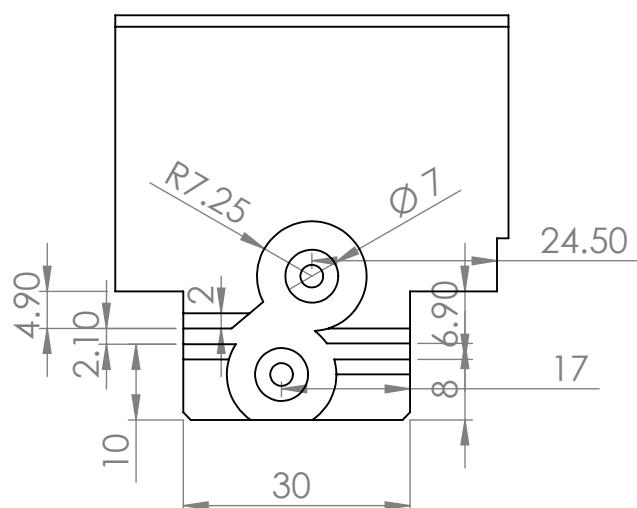
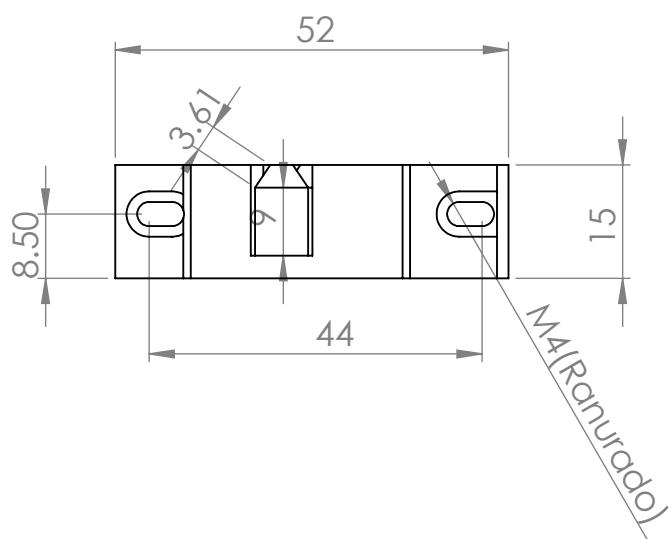
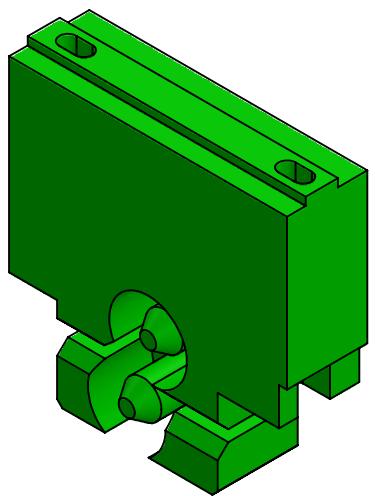
N.º DE DIBUJO

**Soporte motor eje Y**

A4

ESCALA:1:1

HOJA 11 DE 18



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017

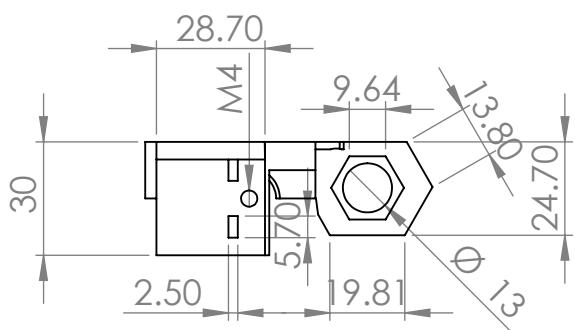
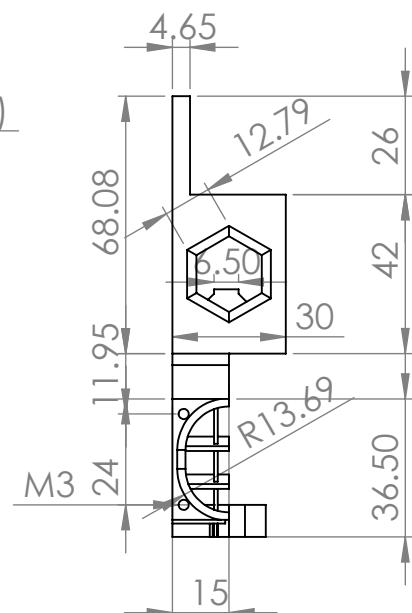
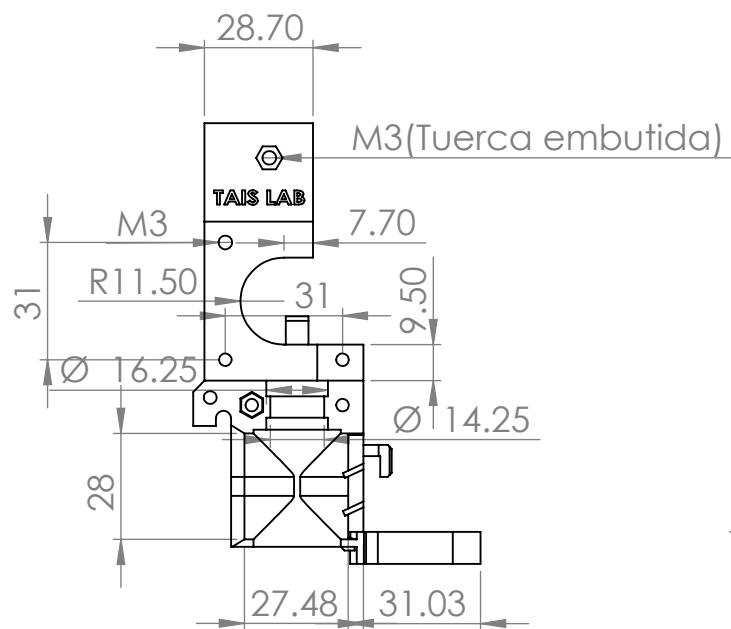
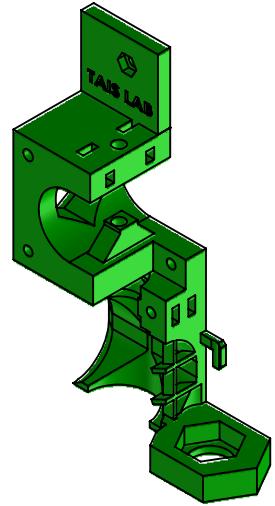


UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:	TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)	
Diseño y construcción de impresora de doble extrusor independiente multmaterial		
N.º DE DIBUJO	Soporte correa eje Y	A4
ESCALA:1:1	HOJA 12 DE 18	



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

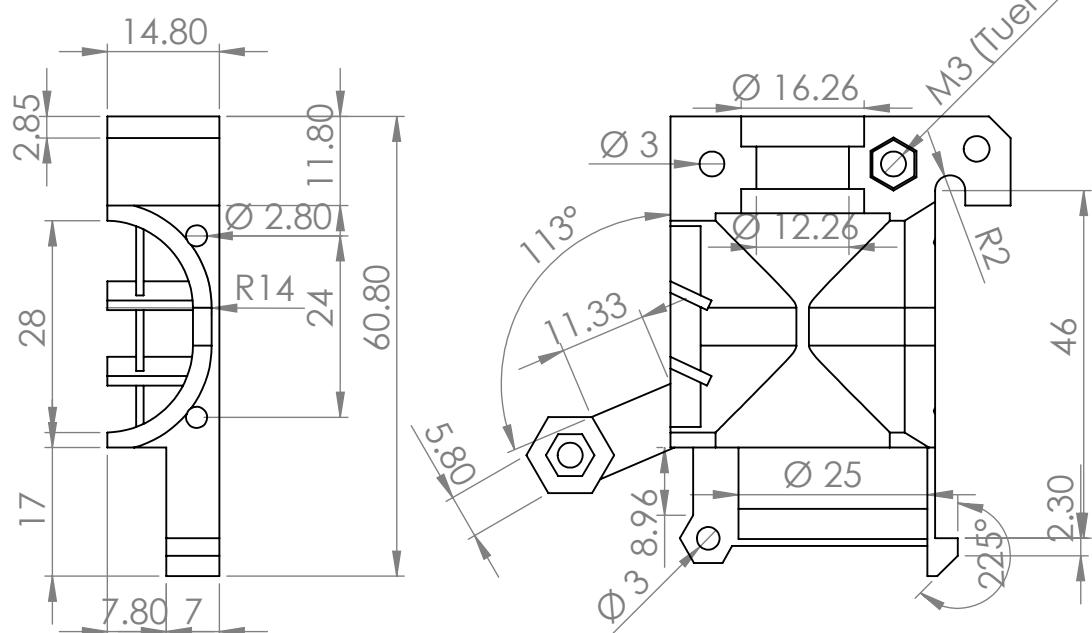
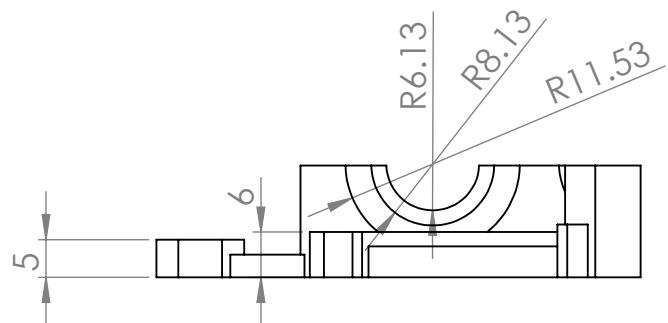
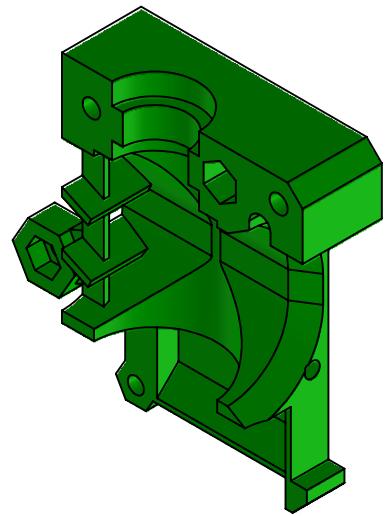
N.º DE DIBUJO

Cuerpo del extrusor

A4

ESCALA:1:2

HOJA 13 DE 18



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

### TÍTULO: TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de doble extrusor independiente multmaterial

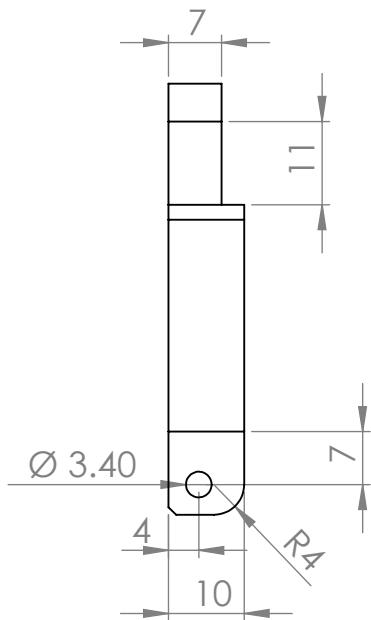
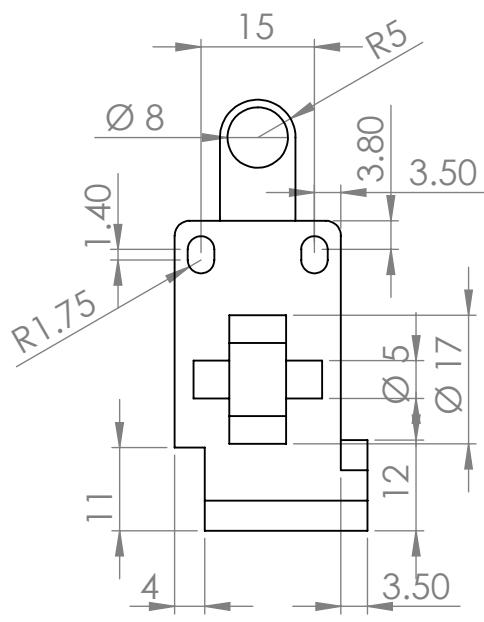
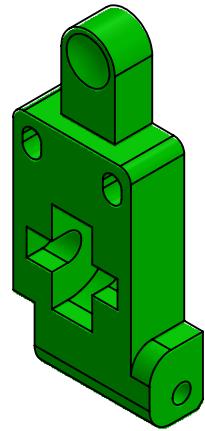
N.º DE DIBUJO

Cubierta del cuerpo del extrusor

A4

ESCALA:1:1

HOJA 14 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	74936437-E	FIRMA	FECHA
DIBUJ.					30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

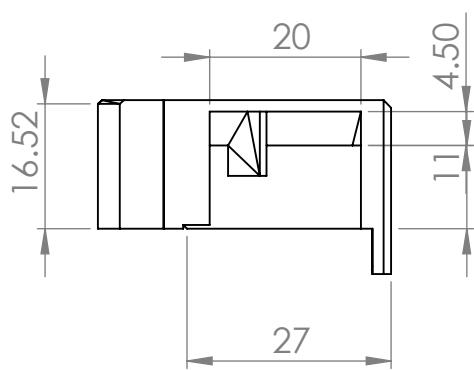
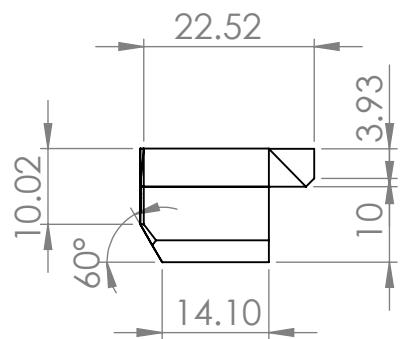
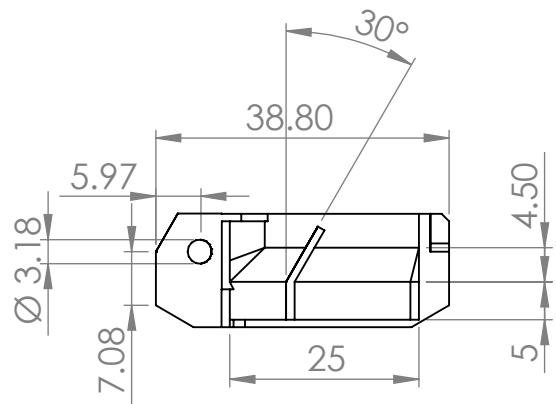
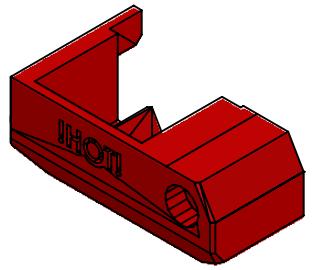
N.º DE DIBUJO

Palanca del rodillo presión

A4

ESCALA:1:1

HOJA 15 DE 18



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

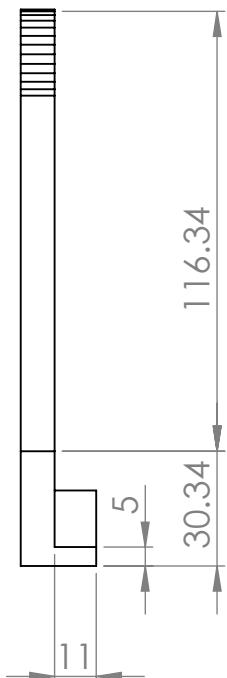
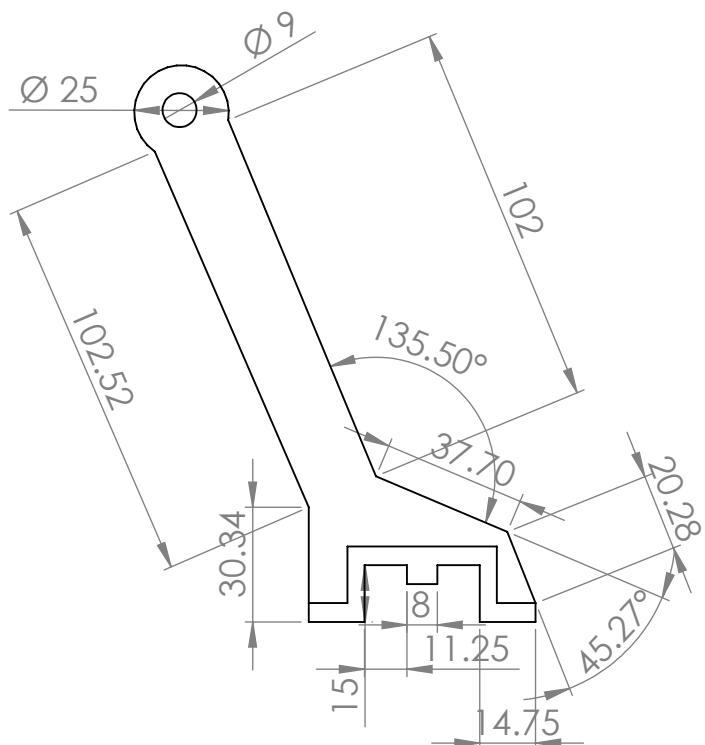
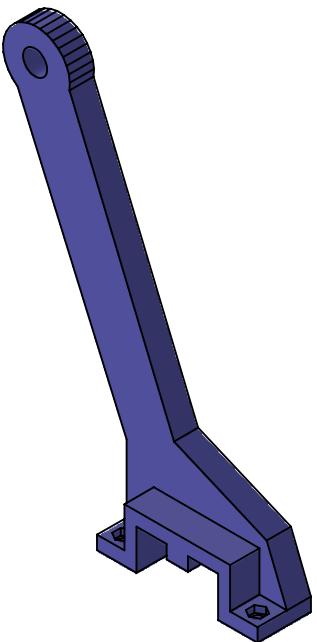
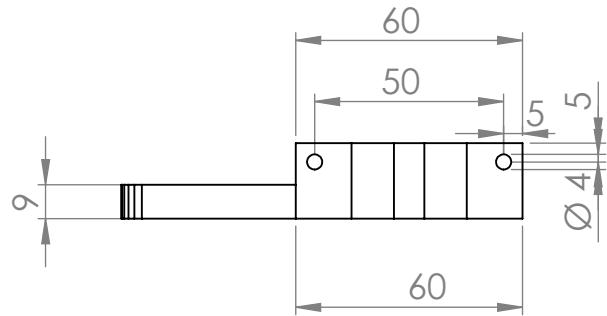
N.º DE DIBUJO

Tobera del extrusor

A4

ESCALA:1:1

HOJA 16 DE 18



	NOMBRE	D.N.I.	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	74936437-E		30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

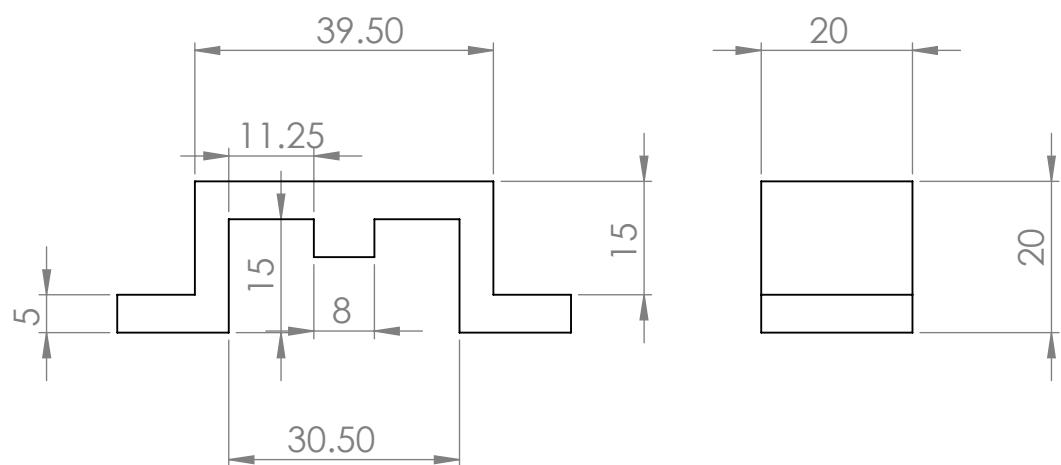
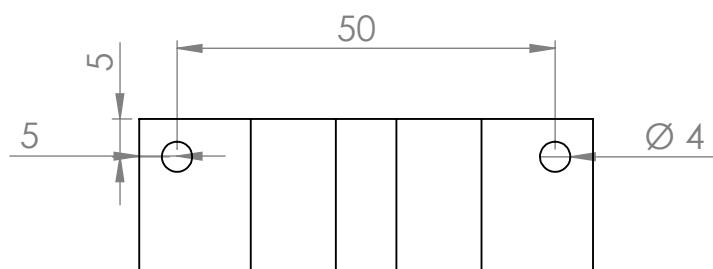
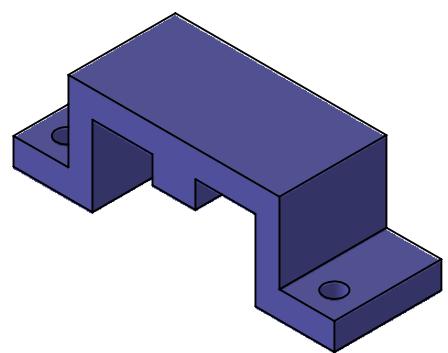
N.º DE DIBUJO

Sopores filamentos

A4

ESCALA:1:2

HOJA 17 DE 18



NOMBRE	CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA	D.N.I.	74936437-E	FIRMA	FECHA
DIBUJ.					30/01/2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.  
Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática (ISA)

TÍTULO:  
TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

Diseño y construcción de impresora de  
doble extrusor independiente multmaterial

N.º DE DIBUJO

**Soportes filamentos 2**

A4

ESCALA:1:1

HOJA 18 DE 18



# CAPÍTULO 13: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Este Capítulo se ha desarrollado con el Software Mendeley y la normativa aplicada IEEE.

- [1] «Original Prusa i3 MK2 kit assembly v1.05 - Prusa3D». [En línea]. Disponible en: [http://manual.prusa3d.com/c/Original\\_Prusa\\_i3\\_MK2\\_kit\\_assembly](http://manual.prusa3d.com/c/Original_Prusa_i3_MK2_kit_assembly). [Accedido: 13-mar-2017].
- [2] «Tais Lab – Telerobotics and Interactive Systems Lab». [En línea]. Disponible en: <http://taislabs.uma.es/INDEX.PHP/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [3] «Breve historia de la impresión 3D – Impresoras3D.com». [En línea]. Disponible en: <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102825479-breve-historia-de-la-impresion-3d>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [4] «3D: la nueva dimensión de las profesiones que vienen». [En línea]. Disponible en: <http://www.expansion.com/emprendedores-empleo/2016/07/20/578fbbae6468aebc82f8b4613.html>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [5] «Estas son las tecnologías de impresión 3D que hay sobre la mesa y lo que puedes esperar de ellas». [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/perifericos/estas-son-las-tecnologias-de-impresion-3d-que-hay-sobre-la-mesa-y-lo-que-puedes Esperar-de-ellas>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [6] «Cinética de un Robot». [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/leonleonic/cintica-de-un-robot>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [7] «perfiles aluminio 30x30 Tipo-B-Verifica nuestro catálogo». [En línea]. Disponible en: <http://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado/Perfil-30-Tipo-B-Ranura-8/Perfil-30x30-Tipo-B-ran-8::99999432.html?XTCsid=oq9ngpmaj2490c4uipi56ffrp6>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [8] «5 Maneras de eliminar el Warping en tus impresiones. - Impresiona 3D». [En línea]. Disponible en: <http://www.impresiona3d.com/5-maneras-de-eliminar-el-warping-en-tus-impresiones/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [9] «Extrusor doble buda». [En línea]. Disponible en: <https://www.moebius.com/blog/67-doble-buda>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [10] «Diamante Extrusora impresora 3D Reprap Hotend Más Nítida y Multi Color Bronce boquilla 3 EN 1 V6 disipador I3 Prusa kit For1.75/0.4mm en 3D Printer Parts & Accessories de Informática y Oficina en AliExpress.com | Alibaba Group». [En línea]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/Brass-Color-Nozzle-3-IN-1-E3D-V6-long-distance-heatsink-OUT-0-4mm-For-1/32646569807.html?spm=2114.43010308.4.1.g3jORQ>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [11] «3ders.org - Taiwanese engineer working on the world's biggest CMYKW 3D printer | 3D Printer News & 3D Printing News». [En línea]. Disponible en: <http://www.3ders.org/articles/20141124-taiwanese-engineer-working-on-the-world-biggest-cmykw-3d-printer.html>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [12] «Volcano». [En línea]. Disponible en: <http://e3d-online.com/E3D-v6/Volcano>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [13] «1000+ ideas about Prusa I3 on Pinterest | Anatomie oreille, Anatomie de l oreille and Corps humain 3d». [En línea]. Disponible en: <https://es.pinterest.com/explore/prusa-i3-929582508684/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [14] «RUMBA - RepRapWiki». [En línea]. Disponible en:



- [15] [http://www.reprap.org/wiki/RUMBA#RUMBA\\_Wiring](http://www.reprap.org/wiki/RUMBA#RUMBA_Wiring). [Accedido: 13-mar-2017]. «Guía definitiva para comprar drivers DRV8825 ó A4988». [En línea]. Disponible en: [https://www.staticboards.es/blog/drv8825-vs-a4988/#Drivers\\_basados\\_en\\_el\\_Texas\\_Instruments\\_DRV8825](https://www.staticboards.es/blog/drv8825-vs-a4988/#Drivers_basados_en_el_Texas_Instruments_DRV8825). [Accedido: 16-mar-2017].
- [16] «MarlinX2». [En línea]. Disponible en: <https://github.com/dob71/MarlinX2>. [Accedido: 27-may-2017].
- [17] «Marlin X2 firmware - RepRapWiki». [En línea]. Disponible en: [http://reprap.org/wiki/Marlin\\_X2\\_firmware](http://reprap.org/wiki/Marlin_X2_firmware). [Accedido: 26-may-2017].
- [18] «MARLIN 1.1.0». [En línea]. Disponible en: [https://github.com/MarlinFirmware/Marlin/releases/tag/1.1.0?utm\\_source=1-2-2](https://github.com/MarlinFirmware/Marlin/releases/tag/1.1.0?utm_source=1-2-2). [Accedido: 27-may-2017].
- [19] «Cura 3D Printing Slicing Software». [En línea]. Disponible en: <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>. [Accedido: 26-may-2017].
- [20] «GrabCAD». [En línea]. Disponible en: <https://grabcad.com/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [21] «Search Thingiverse - Thingiverse». [En línea]. Disponible en: <http://www.thingiverse.com/search/page:1?sort=relevant&q=i3+mk2&type=things>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [22] «moebyus - Buscar con Google». [En línea]. Disponible en: <https://www.google.es/search?q=moebyus&oq=moebyus&aqs=chrome..69i57j69i60l3j0l2.1963j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [23] «The Palette: 3D Printing Evolved by Chris Labelle — Kickstarter». [En línea]. Disponible en: <https://www.kickstarter.com/projects/mosaic3d/the-palette-3d-printing-evolved?lang=es>. [Accedido: 26-may-2017].
- [24] «Guia para comprar impresoras 3D | GUIA PARA COMPRAR IMPRESORAS 3D». [En línea]. Disponible en: <http://guiacomprarimpresora3d.com/la-mejor-guia-para-comprar-una-impresora-3d-20152016/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [25] «ATRESPAYER - Volver a ver vídeos de Enviado especial - Programa 4: El futuro en 3D», 2017.
- [26] «IMPRESORAS 3D - Programa Tesis - Canal Sur». [En línea]. Disponible en: <http://www.cedecom.es/noticias/impresoras-3d/>. [Accedido: 01-jun-2017].
- [27] «Leyendas urbanas en torno a la impresión 3D - Noticias - Digital - Channel Partner». [En línea]. Disponible en: <http://www.channelpartner.es/digital/noticias/1098241000602/leyendas-urbanas-torno-impresion-3d.1.html>. [Accedido: 01-jun-2017].
- [28] «Motedis.es-Tu tienda online para perfiles de aluminio y accesorios». [En línea]. Disponible en: <http://www.motedis.es/shop/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [29] «Rational Stock». [En línea]. Disponible en: <http://www.rationalstock.es/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [30] «Createc 3D | Impresoras 3D, Fablab, Coworking, Makerspace. Granada». [En línea]. Disponible en: <https://createc3d.com/>. [Accedido: 13-mar-2017].
- [31] «Inicio - Leroy Merlin - Bricolaje, construccion, decoracion, jardín». [En línea]. Disponible en: <http://www.leroymerlin.es/>. [Accedido: 13-mar-2017].



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**EPS**

Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Málaga

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **IMPRESORA 3D DE DOBLE EXTRUSOR INDEPENDIENTE PARA DOS MATERIALES**

La aprobación de este trabajo permite la obtención del título:

Ingeniería Mecánica

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**Autor: D. CRISTÓBAL JESÚS RAMÍREZ AYALA**

**Tutor: Dr. D. JESÚS MANUEL GÓMEZ GRABIEL**

**Junio de 2017**