



Escuela superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

**GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

Trabajo de Fin de Grado

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA
IMPRESORA 3D DE BAJO COSTE**

Ruiz García, Álvaro



Trabajo de Fin de Grado

El presente trabajo, titulado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D DE BAJO COSTE**, constituye la memoria correspondiente a la asignatura Trabajo de Fin de Grado que presenta **D. Alvaro Ruiz García** como parte de su formación para aspirar al Título de Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

Este trabajo ha sido realizado en la **Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología de la Universidad Rey Juan Carlos**, en el **Departamento de *Matemática Aplicada, Ciencia e Ingeniería de los Materiales y Tecnología Electrónica*** bajo la dirección de ***Felipe Machado Sánchez***.

Móstoles, 08 de marzo de 2021

AGRADECIMIENTOS

La consecución de este proyecto no habría sido posible sin la ayuda de la Universidad, que gracias a la cesión del espacio y los materiales necesarios, me ha permitido construir mi prototipo y la ejecución de un trabajo que concluya todos los conocimientos adquiridos durante mi proceso formativo.

Por supuesto, tengo que dedicar un apartado a agradecer a mi tutor Felipe, por el tiempo que me ha dedicado. Gracias a su paciencia, me ha orientado en la dirección correcta para poder plasmar en el trabajo la información de manera que sea comprensible y veraz.

RESUMEN

Los avances tecnológicos han cambiado la forma de diseñar y fabricar los productos que se necesitan hoy en día. Una de las tecnologías que más avances ha realizado a lo largo de estos años ha sido la impresión 3D.

Las impresoras 3D han acercado el mundo de la electromecánica a la sociedad para que cualquier persona pueda imprimir sus propias piezas en casa.

En este proyecto se ha construido una impresora de grandes dimensiones aplicando la filosofía Open Source y la tecnología Rep Rap. Usando herramientas de software libre se han rediseñado las piezas de la impresora y se ha reconfigurado un modelo de impresora ya existente.

Así mismo, sirve como una iniciación en el mundo de la impresión en 3D, cómo montar una propia impresora de coste reducido, explicando cómo implementar varios aspectos de la impresora y soluciones para mejorar los posibles errores.

Finalmente hay que señalar que durante la realización del TFG se ha completado la formación académica en ámbitos de la ingeniería como el diseño electrónico, diseño mecánico, impresión 3D e interpretación de hojas de características.

TABLA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
CAD	Computer Aided Design (Diseño asistido por ordenador)
NC	Normalmente Cerrado
NO	Normalmente abierto
SLS	Selective laser sintering
FDM	Modelado por deposición fundida
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
BPA	Bisfenol A
PLA	Ácido poliláctico
USB	USB Universal Serial Bus - Bus Universal en Serie

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Impresora con Ejes Cartesianos (luisllamas.es).....	16
Figura 2. Prusa I3 (blog.prusaprinters.org/).....	18
Figura 3. Impresora Cherry 3D (instructables.com/Cherry-60-3D-Printer/).....	18
Figura 4. Vulcanus V1 (instructables.com/Vulcanus-V1-3D-Printer/).....	19
Figura 5. Impresora Vulcan.....	22
Figura 6. Funcionamiento de la impresora.....	24
Figura 7. Modelo esquemático.....	24
Figura 8. Modelo 3D de la impresora.....	25
Figura 9. Eje Z con cama de impresión.....	26
Figura 10. Eje X e Y.....	27
Figura 11. Sistema CoreXY	27
Figura 12. Extrusor (filament2print.com).....	28
Figura 13. Extrusor Bowden. (provisional)	29
Figura 14. Partes del Hotend.....	29
Figura 15. Modelo 3D de la iDeator12 (imprimalia3d.com/).....	30
Figura 16. Sujeción cama de impresión a eje Z.....	32
Figura 17. Soporte motor Eje Z.....	32
Figura 18. Soportes motores XY	33
Figura 19. Carrito	33

Figura 20. Abrazadera de correa	34
Figura 21. Sujeción de los extrusores	34
Figura 22. Soporte Varillas del carrito	35
Figura 23. Partes Electrónicas de una Impresora 3D	39
Figura 24. Placa Arduino Mega (tienda.bricogeek.com)	41
Figura 25. Partes Ramps 1.4	42
Figura 26. Final de carrera	43
Figura 27. Esquema final de carrera con pull up	43
Figura 28. LCD Full Graphic Smart controller	44
Figura 29. Motor Nema 17	45
Figura 30. Modelos Pololu	46
Figura 31. Pines Pololu A4988	47
Figura 32. Extracto Datasheet Pololu A4988	48
Figura 33. Compilar Código Marlin	50
Figura 34. Versiones disponibles de Marlin	50
Figura 35. Cama caliente tipo PCB	52
Figura 36. Cama caliente de silicona	53
Figura 37. Sensor inductivo para auto nivelado	54
Figura 38. Placa Raspberry Pi 3 (impresoras3d.com)	54
Figura 39. Barras 700 mm	60
Figura 40. Estructura Externa	61
Figura 41. Esquina parte inferior. Estructura Externa.	62
Figura 42. Esquina Superior. Estructura Externa.	63

Figura 43. Motores montados en las piezas impresas	64
Figura 44. Colocación Core XY_“Derecho” y “Core XY_“Izquierdo”	65
Figura 45. Sujeción barras del carrito.....	66
Figura 46. Estructura sobre la que irá el carrito.	66
Figura 47. Vista Rodamientos	67
Figura 48. Parte central del carrito unido mediante barra a motores.....	68
Figura 49. Montaje del carrito	69
Figura 50. A) Piezas sin montar b) Los motores listos para colocar en la estructura.	70
Figura 51. Colocación de los motores del Eje Z en la estructura.....	70
Figura 52. Barras con rodamientos.....	71
Figura 53. Colocación de Barras correderas	72
Figura 54. Colocación de la barra para no interferir con la barra superior.....	73
Figura 55. Materiales a utilizar	74
Figura 56. Colocación en la estructura.	74
Figura 57. Colocación de la plataforma de impresión.....	75
Figura 58. Plataforma para la electrónica.....	76
Figura 59. Core XY base estándar.....	77
Figura 60. Corexy: Movimiento de los cables.....	78
Figura 61. Corexy para movimiento con dos ejes.....	78
Figura 62. Mecanismo mejorado.....	79

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
TABLA DE ABREVIATURAS	6
TABLA DE FIGURAS.....	7
INDICE	10
1.1. INTRODUCCIÓN	12
1.2. IMPRESIÓN 3D.....	12
1.2.1. <i>Historia de la Impresión 3D</i>	13
1.2.2. <i>Proyecto RepRap</i>	13
1.2.3. <i>Arduino</i>	14
1.2.4. <i>Hardware y Software Libre</i>	14
1.2.5. <i>Tipos de impresión</i>	15
1.2.6. <i>Tipos de Impresora según Movimiento</i>	16
1.3. ESTADO DEL ARTE	17
1.4. CONCLUSIONES	20
1.5. ESQUEMA DE LA MEMORIA.....	20
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	21
CAPÍTULO 3. SOLUCIÓN TÉCNICA.....	22
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO.....	22
3.1.1. <i>Descripción general del funcionamiento</i>	23
3.2. SISTEMA MECÁNICO.....	25
3.2.1. <i>Impresora 3D</i>	30
3.2.2. <i>Piezas Impresas</i>	31
3.2.3. <i>Cálculos del sistema mecánico</i>	35
3.3. HERRAMIENTAS HARDWARE Y SOFTWARE DE IMPRESIÓN	37
3.4. SISTEMA ELECTRÓNICO.....	39
3.4.1. <i>Sistema electrónico de Control</i>	40

3.4.2. Sistema electrónico de potencia.....	44
3.4.3. Marlin.....	49
3.4.3.1. Configurando Marlin.....	49
3.5. ESTUDIO ECONÓMICO	51
3.6. LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO	52
3.6.1. Cama caliente.....	52
3.6.2. Autonivelado con un sensor inductivo.....	53
3.6.3. Raspberry Pi y cámara.....	54
3.6.4. Mejora de Abrazaderas de la correa.....	55
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	56
CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA.....	57
APÉNDICE A. MONTAJE IMPRESORA 3D.....	60
5.1. PASO 1 – MONTAJE ESTRUCTURA EXTERNA	60
5.2. PASO 2 – MONTAJE MOTORES	63
5.3. PASO 3 – MONTAJE DEL CARRITO	65
5.4. PASO 4 - COLOCACIÓN EJE Z	69
5.5. PASO 5 - CORREDERAS DE LA PLATAFORMA DE IMPRESIÓN	71
5.6. PASO 6 - SUJECIONES PLATAFORMA Y PLATAFORMA.....	73
5.7. PASO 8 – PLATAFORMA PARA LA ELECTRÓNICA	75
APÉNDICE B. SISTEMA CORE XY	77
APÉNDICE C. DATASHEET 17	80
.....	80

1.1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de grado se centra en el diseño y construcción de un prototipo de impresora 3D de hardware libre [1].

Uno de los objetivos principales de este proyecto es que sea de hardware libre, haciendo que todos los diseños y especificaciones sean de libre acceso para que cualquier persona pueda replicar o mejorar la impresora. Para ello toda la información se ha subido a la plataforma de GitHub para su libre acceso [2].

1.2. IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es un proceso de fabricación en el cual se manipulan de manera automática distintos materiales y que mediante superposición de capas de elementos construyen de forma precisa un objeto en tres dimensiones.

Las impresoras 3D han evolucionado a lo largo de los años. En los primeros momentos las impresoras tenían un precio elevado, sus tiempos de impresión eran de días y la calidad de las piezas dejaba mucho que desear. Con los años surgió el proyecto RepRap que gracias a la filosofía del hardware y software libre creó toda una comunidad a lo largo del mundo que trabajó conjuntamente para implementar el diseño que había de las impresoras 3D. Esta iniciativa tuvo el propósito de hacer esta tecnología abierta y la vez de abaratar el proceso, haciendo que las impresoras pudieran “replicarse a sí mismas”. Con cada diseño se conseguían implementar distintos aspectos de las impresoras, hasta llegar a los diseños que tenemos actualmente [3].

El proceso de una impresora 3D empieza cuando el usuario diseña mediante un programa de modelado la pieza a imprimir. Después, esta pieza se debe convertir a un tipo de archivo que se conoce como STL que es la misma pieza que se ha diseñado, pero con forma de malla. Nuestro diseño tiene que pasar a otro formato conocido como Gcode antes de poder ser enviado a nuestra impresora. Este Gcode está compuesto únicamente por comandos de posicionamiento, velocidades y temperaturas de extrusión, como si fuera una lista de instrucciones para el microcontrolador de como imprimir nuestra pieza.

En este punto nuestro microcontrolador, en este caso el Arduino, recibe esta información y comienza a calentar el extrusor, que va a ser el encargado de calentar el filamento a medida que

pasa a través de la boquilla y se va depositando sobre la superficie de impresión. A su vez, nuestro microcontrolador da las órdenes a los motores para mover el extrusor y capa a capa ir formando la pieza diseñada.

1.2.1. HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D

Los primeros comienzos de esta tecnología se remontan al año 1970, comenzando como otras tecnologías con prototipos grandes, caros y con muchas limitaciones [4];**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** .

En el año 1984 aparece la que podríamos denominar la primera impresora 3D. Esta impresora fue inventada por Charles Hull con una tecnología denominada “*sterolithography*”. Esta tecnología permitía crear modelos 3D solidificando resina con rayos láser ultravioletas, para realizar pruebas de diseño antes de realizar un proceso de fabricación más elaborado.

Dos años después, en 1986, le permitirían crear la patente y su compañía sacó al mercado la primera impresora 3D comercial, la “SLA-1”.

En 1988 aparece la tecnología “*Fused Deposition Modelling (FDM)*”, y en 1992 sale al mercado la primera impresora que utiliza este método de producción. Esta tecnología consiste en la deposición de resina con boquillas o cabezales, pero aún no permite la impresión en tres dimensiones.

Este hito se consigue en el MIT en 1993, que usaban un método parecido al de una impresora de tinta, solo que conseguía depositar material en las tres dimensiones del espacio y no solo sobre el plano.

Es en 2004 cuando nace el proyecto RepRap, y con él se revolucionó todo el mundo de las impresoras 3D, creando una de las mayores comunidades libres del mundo.

1.2.2. PROYECTO REPRAP

Las ideas básicas del proyecto están detalladas en el documento de los creadores: “Open Design and the Reprap Project”[1]. “RepRap es la primera máquina replicante de uso general de la humanidad” [5].

El proyecto RepRap surge de la idea de hacer llegar a cualquier lugar la tecnología de las impresoras 3D. Para lograr este objetivo, crearon una impresora 3D libre, capaz de imprimir objetos plásticos y que es capaz de replicarse a sí misma. Esto es posible ya que la gran parte de las piezas que se utilizan en la actualidad en las impresoras RepRap son de plástico y de resina.

Toda la información sobre la impresora se encontraba de forma pública en internet, es decir, el proyecto es de código abierto. Gracias a esto y a las licencias públicas, cualquiera puede modificar y mejorar el diseño y código de la impresora. Con las mejoras de miles de personas a lo largo del mundo, la tecnología de las impresoras 3D ha evolucionado a pasos agigantados, y en la actualidad cualquier persona con una impresora 3D puede crear nuevas impresoras de bajo coste.

1.2.3. ARDUINO

Se ha considerado conveniente hacer una mención al proyecto Arduino porque es otro de los pilares que han hecho posible este proyecto.

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto que se basa en hardware y software libre, flexible y que tiene una gran facilidad de uso. Esto ha permitido la creación de diferentes microcontroladores de una sola placa para distintos tipos de usos [6].

La primera placa Arduino la diseñó Massimo Banzi cuando era un estudiante de instituto. La inventó por la necesidad de aprendizaje de los estudiantes, ya que en aquella época el precio de un microcontrolador era muy caro. Poco a poco, diferentes personas de todo el mundo fueron uniéndose a esta idea de un microcontrolador “open-source”. A día de hoy se han vendido más de 250 mil placas en todo el mundo, sin contar las versiones clonadas y compatibles.

Ahora mismo podemos encontrar en el mercado una placa Arduino por menos de 30 euros, y a partir de ese importe podemos encontrar diferentes placas más especializadas para diferentes funciones. El proyecto RepRap probablemente no se habría podido realizar si no se dispusiera de las placas Arduino [7].

1.2.4. HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE

Un proyecto se considera de Hardware libre cuando sus especificaciones y esquemas son de libre acceso, de forma que cualquier persona pueda recrearlos y modificarlos. Las cuatro libertades esenciales de cualquier software o hardware libre son [8]:

- La libertad de usar el programa con cualquier fin o con cualquier propósito.
- La libertad de poder acceder a toda la información para poder estudiarlo y modificarlo.
- La libertad de compartir esta información para ayudar a otros.
- La libertad de distribuir las copias con modificaciones de forma que se beneficie a toda la comunidad, dejando que todo el mundo pueda hacer uso de las mejoras.

1.2.5. TIPOS DE IMPRESIÓN

En la actualidad se puede hacer una distinción de tipos de impresoras 3D según el tipo de tecnología que usan [9]:

- **Extrusión de Material.** Es un proceso en el que se mueve un material termoplástico sólido a través de una boquilla previamente calentada, que la derrite a su paso. La impresora deposita el material en una plataforma sobre la que va formando un objeto a medida que se solidifica. El más común es el Modelado por deposición fundida (FDM).
- **Polimerización VAT.** Es un proceso en el que resina fotopolímera se cura mediante una fuente de luz para dar forma a un objeto sólido. La diferencia entre las distintas tecnologías de impresión de este tipo es la luz que se usa para curar la resina.
- **Fusión en lecho de polvo (polímeros).** En esta tecnología, una fuente de energía térmica fuerza de forma selectiva la fusión entre partículas de polvo en un área para crear la forma final. El más común de esta tecnología es el sinterizado selectivo por láser.
- **Inyección de Material.** En este proceso de impresión 3D se depositan gotas de material y después con una luz se produce la curación selectiva del material sobre la plataforma de impresión. Usando materiales que se pueden curar cuando se exponen a la luz podemos formar objetos capa a capa.
- **Binder Jetting.** En esta tecnología un aglutinante líquido une regiones de un lecho de polvo. Es similar al SLS (Selective laser sintering), solo que, en lugar de usar un láser para sinterizar el polvo, se inyectan gotas de aglutinante para unir capas de polvo y generar cada capa del objeto.

1.2.6. TIPOS DE IMPRESORA SEGÚN MOVIMIENTO

Aparte del método de deposición también podemos diferenciar las impresoras 3D según el tipo de movimiento que representan.

Impresoras 3D cartesianas

Este tipo de movimiento es el más usado en impresoras FDM, que recibe este nombre debido a que utiliza un sistema de coordenadas dimensionales cartesiano (ejes X, Y y Z). Este método se usa para determinar de forma exacta la localización del cabezal de impresión y determinar el movimiento que debe realizar en base a este sistema de coordenadas.

Lo más común en este tipo de impresoras es que la cama se suele mover únicamente en el eje Z, y el extrusor se mueve en los ejes X e Y. Pero tenemos algunos casos, como en la Prusa i3, en los que el extrusor se mueve en los ejes Z e Y, y es la cama la que se mueve en el eje X.

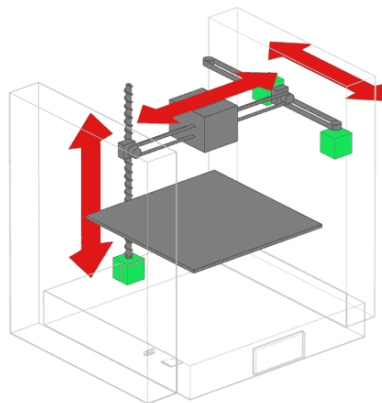


Figura 1. Impresora con Ejes Cartesianos (luisllamas.es)

Impresoras 3D Polares

Estas impresoras, tal como su nombre indica, utilizan las coordenadas polares para imprimir en 3D. Los conjuntos de coordenadas describen los puntos de una cuadrícula circular en lugar de la forma cuadrada que toma con las coordenadas cartesianas.

Esto significa que nuestra cama de impresión va a girar para facilitar la impresión y va a ser el extrusor el que va a moverse en las direcciones Y y Z.

Por ejemplo, la impresora THETA que utiliza este sistema de coordenadas, mueve únicamente su extrusor únicamente en el eje Z [10]. Para este caso, la ventaja es que solo requiere dos motores, a diferencia de la cartesiana que requiere un motor para cada eje, es decir, al menos 3 motores. Estas impresoras funcionan muy bien para objetos que siguen una espiral. Otro punto a favor es que se puede obtener un mayor volumen de construcción dentro un espacio más pequeño.

Impresora 3D Delta

La característica principal es que la cama de impresión circular que se combina con un extrusor fijado en una configuración piramidal por encima de la plataforma. La impresora está compuesta por 3 dispositivos o torres, que se mueven para mover el extrusor. Cada uno de los tres dispositivos puede moverse hacia arriba y hacia abajo, lo que permite que el cabezal de impresión se mueva en tres dimensiones [12].

Estas impresoras fueron fabricadas para aumentar la velocidad de impresión y con una cama de impresión sin movimiento, lo que puede ser útil en distintos proyectos. Pero, por otro lado, la resolución de este tipo de impresión es inferior a las cartesianas.

1.3. ESTADO DEL ARTE

En la etapa inicial de este proyecto se estudiaron diferentes impresoras de ideología Rep Rap para decidir qué clase de impresora se quería diseñar. Las tres impresoras que se estudiaron fueron la Prusa i3, la Cherry 3D y la Vulcanus V1.

Prusa i3

La primera impresora que se estudió fue la Prusa i3, puesto que es una de las impresoras más utilizadas. Su nombre se lo otorgó su diseñador Josef Průša, que lanzó este nuevo diseño en 2010 para simplificar la anterior versión Mendel. Esta nueva versión reducía a la mitad el tiempo de impresión de las piezas que se utilizaban y usaba cojinetes imprimibles en 3D que reemplazaban a los rodamientos normales [11].



Figura 2. Prusa i3 (blog.prusaprinters.org/)

Esta impresora incluía ya de por sí muchas mejoras, pero su precio en el mercado era muy alto, unos 700 euros, y además sus propiedades están limitadas a su pequeño tamaño para imprimir. Por ello se buscó una forma de abaratar los costes de crear una impresora de este calibre sin perder propiedades, así que entró en juego la Cherry 3D.

Cherry 3D

Esta impresora replica a la Prusa i3 en cuanto su diseño, es decir, también usa un arco para mover el extrusor en los ejes Y y Z, y es la plataforma la que realiza el movimiento en el eje X. Este modelo se diseñó con el objetivo de ser lo más barata y pequeña posible.

Está pensada para tener un coste de 60 euros y un tamaño total de 30x30 cm. La gran limitación de esta impresora es que su plataforma de impresión es solo de 10x10 cm.

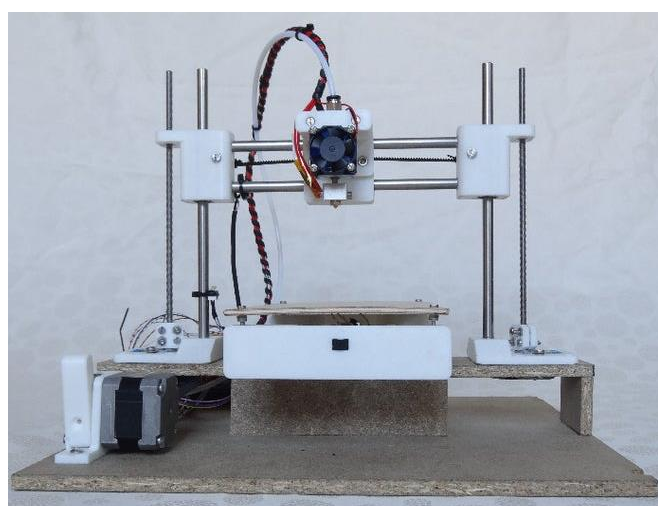


Figura 3. Impresora Cherry 3D (instructables.com/Cherry-60-3D-Printer/)

Este proyecto cumplía uno de los objetivos que se quería conseguir en este trabajo que era la reducción de costes, pero habría que realizar muchos cambios para aumentar la plataforma de impresión.

Vulcanus V1

Esta impresora fue diseñada por el mismo diseñador que la Cherry 3D. Tenía como objetivo aumentar la plataforma de impresión, pero aumentando el coste. El precio de este proyecto ronda los 300 euros y con ello conseguimos un volumen de impresión de 20x20x26 cm.

Consiguió multiplicar el tamaño de impresión disponible realizando añadiendo varias implementaciones.

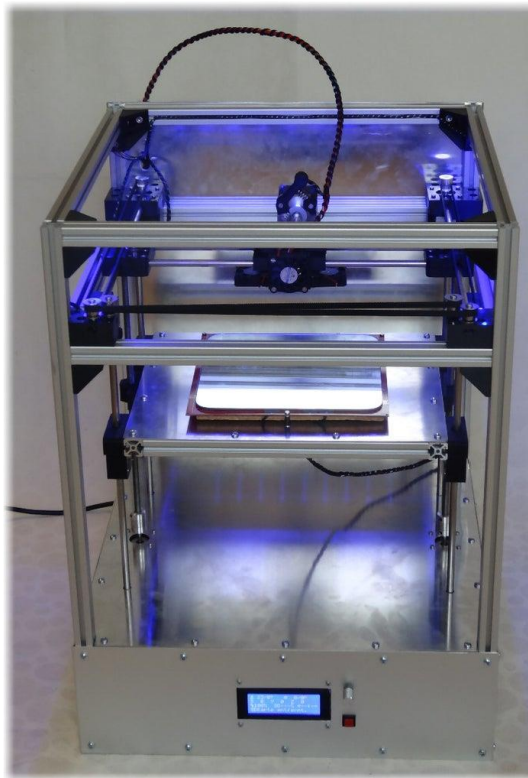


Figura 4. Vulcanus V1 ([instructables.com/Vulcanus-V1-3D-Printer/](https://www.instructables.com/Vulcanus-V1-3D-Printer/))

Esta impresora sustituía el arco que imitaba la Prusa i3 por una estructura rectangular alrededor de toda la impresora. Esta vez es la plataforma de impresión la que se mueve en el eje Z, y gracias a sus cuatro apoyos es dotada de una gran estabilidad ante de las vibraciones. Esta impresora se construyó con el objetivo de conseguir un mayor volumen de impresión, sobre todo en el eje Z.

1.4. CONCLUSIONES

Estudiando los distintos tipos de impresión podemos deducir que los dos métodos que más se acercan al objetivo de este proyecto son el FDM y la impresión usando resina como en el tipo de **Polimerización VAT**. Finalmente se eligió crear una impresora que usara la tecnología FDM porque, aunque se consigue una mayor precisión de impresión usando resina, el gasto sería mucho mayor al ser uno de los objetivos hacer piezas de gran tamaño. La cubeta necesita llenarse de resina para su impresión, y cuanto más grande sea la plataforma de impresión mayor cantidad de resina habrá que usar y más caro será el proceso.

Después de analizar las tres impresoras mencionadas, se llegó a la conclusión de que se podría dimensionar la estructura de la impresora Vulcanus V1 para que fuera más grande y así pudiéramos tener una mayor plataforma de impresión. Además, como disponíamos más espacio, pudimos incorporar un segundo extrusor que aportara más variedad a nuestras impresiones.

1.5. ESQUEMA DE LA MEMORIA

La memoria se ha estructurado en seis capítulos que se describen a continuación:

- **OBJETIVOS:** en este capítulo se describen los objetivos que se pretenden conseguir con este proyecto.
- **SOLUCIÓN TÉCNICA:** en este capítulo se expone el desarrollo general del trabajo, que incluye la construcción, el sistema mecánico y el sistema electrónico de control y potencia.
- **CONCLUSIONES:** en este capítulo se muestran los resultados obtenidos respecto a los objetivos y se proponen futuras líneas de desarrollo.
- **BIBLIOGRAFÍA:** en este capítulo se enumera la documentación consultada para el proyecto.
- **ANEXOS:** incluye más información complementaria para el proyecto no incluida en la memoria principal.

Capítulo 2. OBJETIVOS

El proyecto consiste en el diseño y fabricación de un prototipo de impresora 3D que cumpla los siguientes objetivos:

- Realizar un proyecto libre, comprometiéndose con la filosofía de hardware abierto, de forma que todo el proyecto sea accesible al público. Para ello se usarán programas gratuitos y de libre acceso y el proyecto estará accesible en la plataforma Github.
- Conseguir las habilidades necesarias para fabricar y diseñar una impresora 3D de tipo RepRap, y con estas habilidades mejorar el diseño original.
- Realizar un prototipo de bajo coste y calidad, y para ello se usarán piezas de impresión 3D.
- Conseguir un espacio de impresión mayor que permita imprimir piezas de gran tamaño.
- Dejar el diseño abierto para futuras modificaciones.

Capítulo 3. SOLUCIÓN TÉCNICA

En este capítulo se describe el prototipo de impresora 3D construido, el procedimiento que se ha llevado a cabo para la realización de este TFG y todas las herramientas que se han utilizado.

Como se ha indicado en la conclusión, se decidió hacer una versión mejorada de la impresora Vulcanus V1, pero aumentándola de tamaño. Esta impresora usa la tecnología FDM, y usará las piezas de la Vulcanus V1 adaptadas a su nuevo diseño. Para el microcontrolador se usará la placa Arduino Mega, que con los drivers moverá los motores Nema 17.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO

El prototipo final imita la Vulcanus V1, pero rediseñando sus partes para conseguir un volumen de impresión mayor.

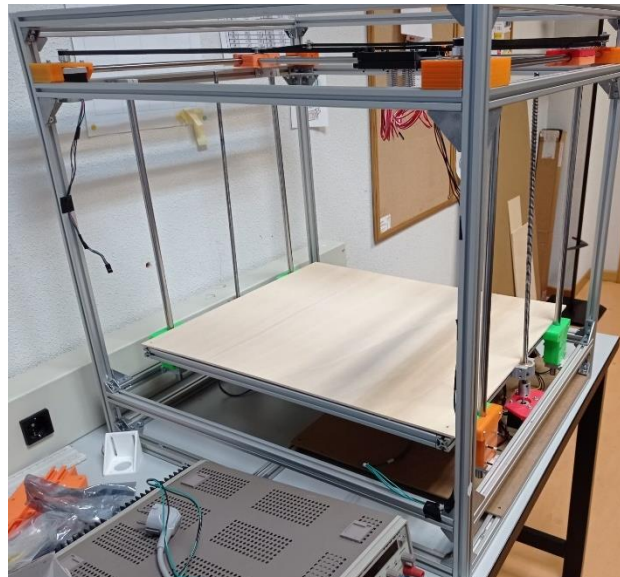


Figura 5. Impresora Vulcan

3.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO

El primer paso que el usuario realizaría sería el diseño de la pieza a imprimir. Para este proyecto se ha usado el programa de libre acceso **FreeCad** para diseñar las piezas que se van a utilizar. Después hay que convertir este diseño general en un idioma que la impresora pueda entender, es decir, hay que generar el **Gcode**. Este Gcode son instrucciones de posición para los motores que el sistema de control se encarga de leer y transmitir a los motores para la impresión. Para generar el Gcode, en este proyecto se ha usado el programa **Repetier**, que es también de libre acceso, pero cualquier programa que decida usar el usuario cumpliría la misma función. Finalmente, este Gcode se pasaría al microcontrolador.

Para este proyecto se decidió utilizar la placa **Arduino Mega** como sistema electrónico de control por ser la más utilizada en todos los proyectos RepRap por su precio, calidad y todo el desarrollo que se ha producido gracias a ella. La Arduino Mega tiene cargada el firmware de la impresora, que se ha decidido que va a ser el **Marlin [13]**, por ser el más intuitivo y versátil. El Marlin es el encargado de leer este Gcode y controlar los motores con el sistema electrónico de potencia para que muevan los motores e impriman la pieza.

Para el sistema de electrónico de potencia se decidió usar la **Ramps 1.4**, que es un shield fabricado para la Arduino Mega que facilita la conexión de todos los componentes electromecánicos de la impresora. Para el control de los motores se decidió usar **Pololus A4988**, que nos permiten tener un control de los motores paso a paso utilizados. Finalmente se decidió usar motores **Nema 17** por ser motores muy buenos en su calidad-precio y ser más que suficientes para mover nuestra plataforma de impresión.

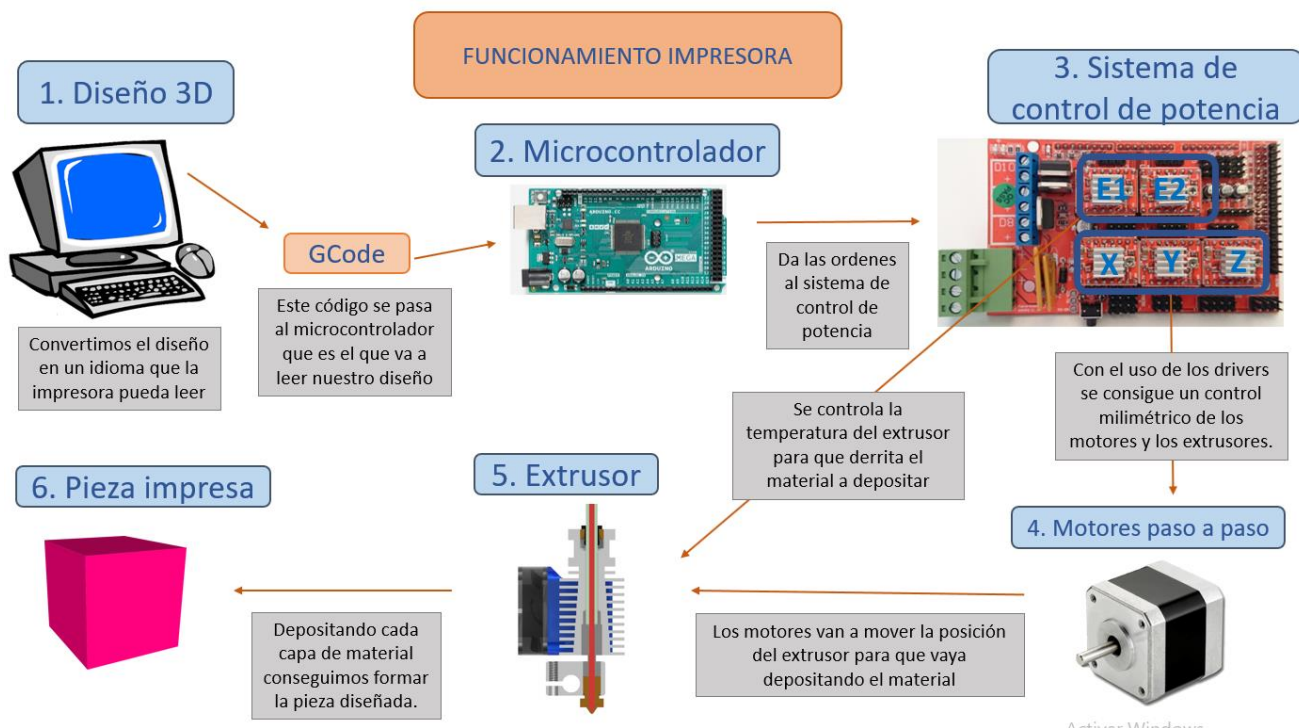


Figura 6. Funcionamiento de la impresora

El prototipo se puede dividir en tres partes: el sistema mecánico, el sistema electrónico de control y el sistema de potencia.

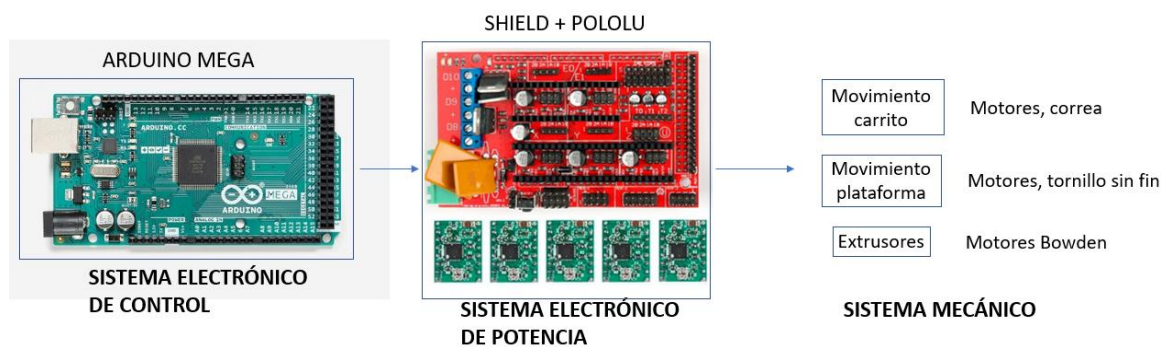


Figura 7. Modelo esquemático

Al igual que en la Vulcanus V1, se ha utilizado una estructura formada por varillas de aluminio. En la parte superior de la impresora tenemos los motores para el eje X e Y y en la parte inferior los dos motores que componen el eje Z. Todo este sistema está controlado por el sistema electrónico de potencia que recibe las órdenes del sistema electrónico de control.

En los siguientes puntos se detallan los sistemas principales:

3.2. SISTEMA MECÁNICO

Para la construcción de la estructura del prototipo se han usado perfiles de aluminio y escuadras que forman la estructura exterior. Para realizar el movimiento se han usado rodamientos, correas, tornillos sin fin y piezas hechas por impresión 3D.

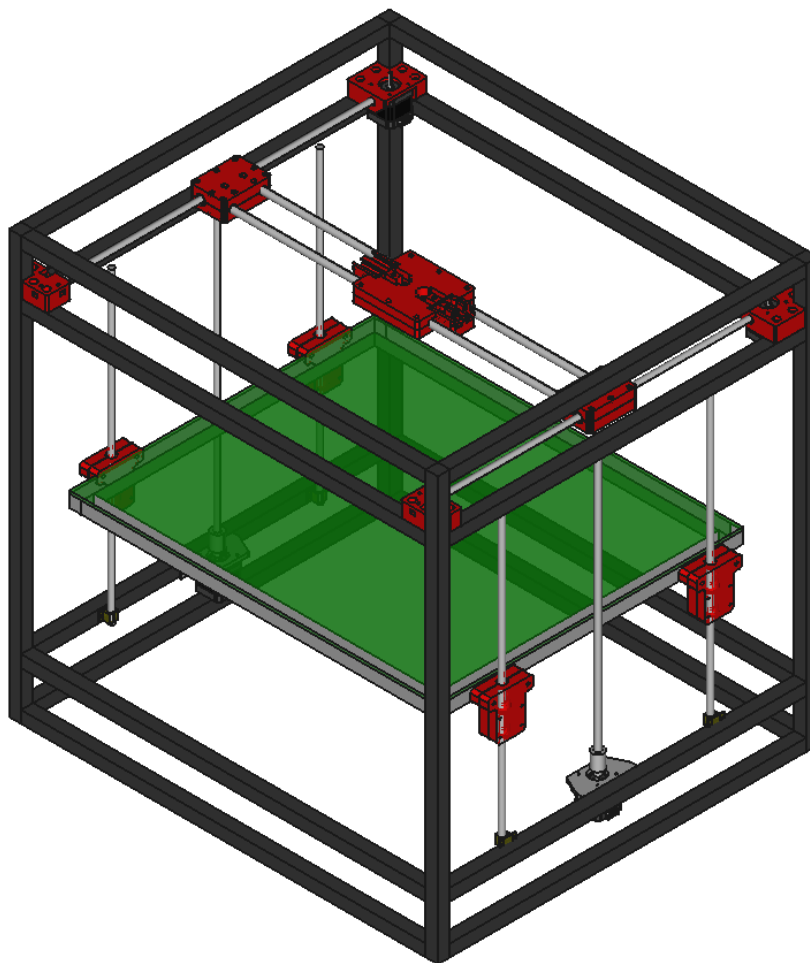


Figura 8. Modelo 3D de la impresora

Tras el montaje de todas las partes se pueden distinguir varias partes mecánicas diferenciadas según a que movimiento este ayudando:

- **Eje Z.** Este conjunto lo formarían a ambos lados de la cama: un motor, una pieza impresa que une el motor a la varilla sin fin que permite el movimiento, dos varillas lisas y las piezas impresas que sujetan los rodamientos a las varillas. Gracias al tornillo sin fin y al motor paso a paso podemos tener un control métrico sobre el movimiento de la plataforma en el eje z.

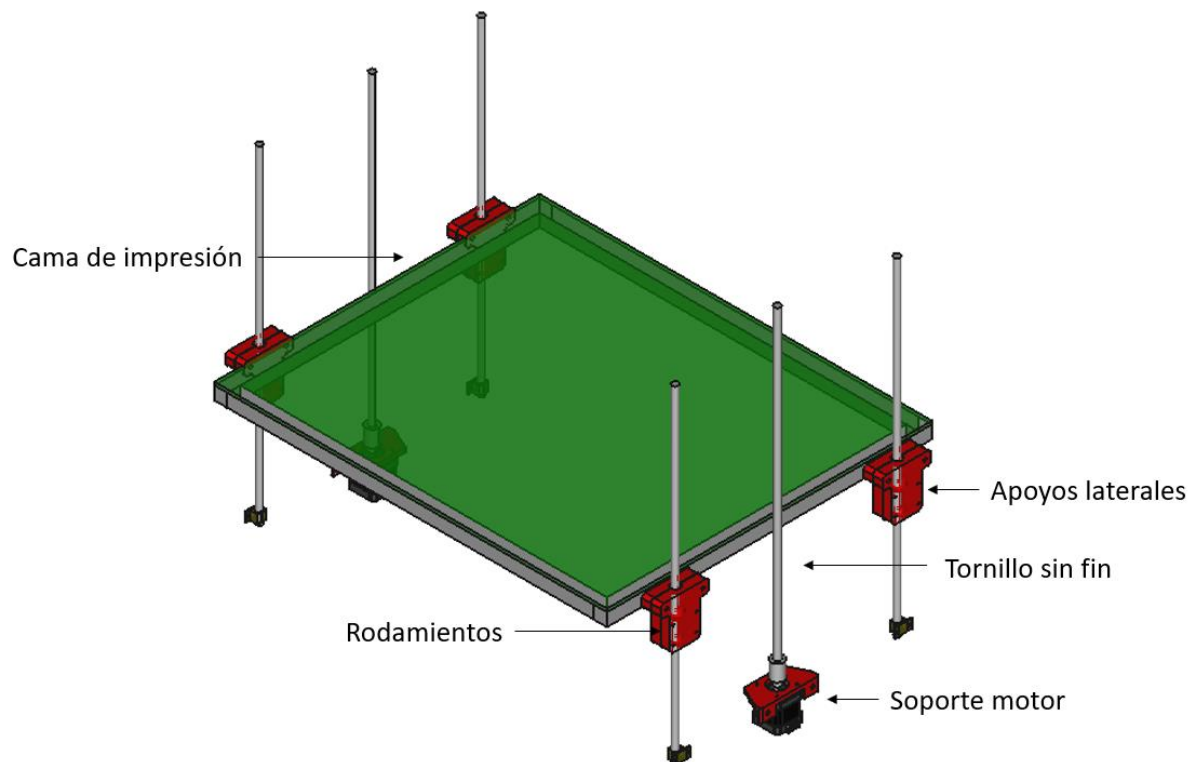


Figura 9. Eje Z con cama de impresión

- **Ejes X e Y.** Para estos dos ejes se decidió utilizar el sistema CoreXY. Este sistema se sirve de dos motores que cuando giran en la misma dirección mueven una correa en una dirección y cuando giran en la dirección contraria mueven la correa en el otro sentido. De este modo conseguimos no tener ningún motor móvil y así reducir las inercias [14].

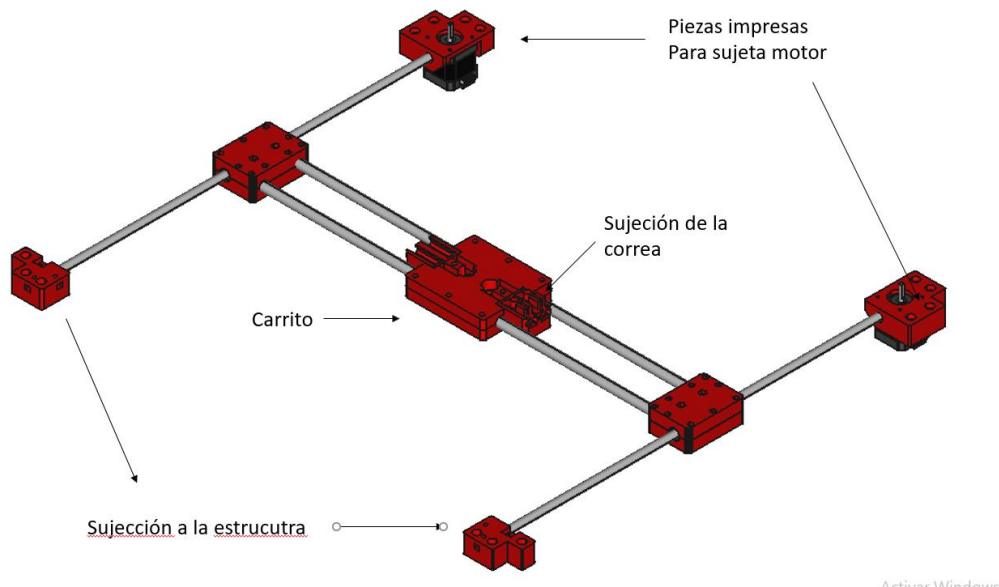


Figura 10. Eje X e Y

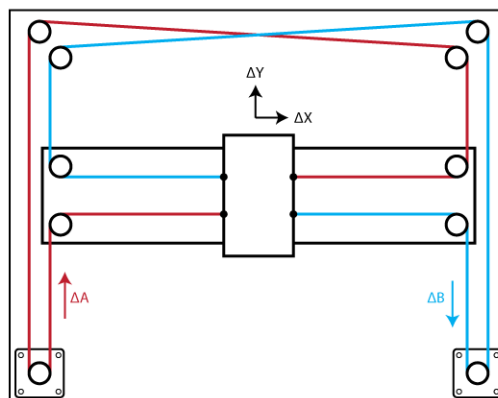


Figura 11. Sistema CoreXY

El sistema coreXY evita que tengamos un motor móvil al realizar los movimientos consiguiendo así que se reduzcan inercias y vibraciones.

- **Carrito.** Formado en su totalidad por piezas impresa por impresión 3D. Sobre él se van a sujetar los dos extrusores, así como la correa que lo moverá usando el sistema CoreXY.
- **Extrusores.** Es el elemento encargado de fundir el material para que pueda ser depositado sobre la cama de impresión. Se conoce como extrusor a todo el conjunto formado por el

motor que mueve el filamento, el disipador de calor y el hotend o parte caliente que es donde se va a fundir el material.



Figura 12. Extrusor (filament2print.com)

Existen dos tipos de tecnologías según como se combine con el motor del extrusor, los sistemas de extrusión directa y los sistemas Bowden.

- **Sistema de extrusión directa.** En estos sistemas, el extrusor y el hotend forman un elemento, es decir, se encuentran unidos de forma que se minimiza la distancia entre el motor y la punta del extrusor.
- **Sistema Bowden.** El extrusor se encuentra sobre la estructura de la impresora y a través de un tubo llamado tubo Bowden se mueve el elemento hacia la boquilla.

La elección entre tipo de extrusor y otro se basa en la funcionalidad que se le vaya a dar a la impresora. Si buscamos la velocidad de impresión, entonces debemos elegir el sistema Bowden, porque al no tener el motor de tracción sobre el carrito podemos aumentar la velocidad de impresión sin miedo a tener inercias que afecten a la impresión. Si en cambio sacrificamos la velocidad y buscamos la calidad, elegiríamos el sistema directo, porque la tensión que se ejerce sobre la boquilla es mayor y se reducen notablemente las impresiones fallidas.

Para este proyecto se va a utilizar el sistema Bowden porque se van a utilizar dos extrusores, produciéndose así muchas vibraciones sobre el carrito.

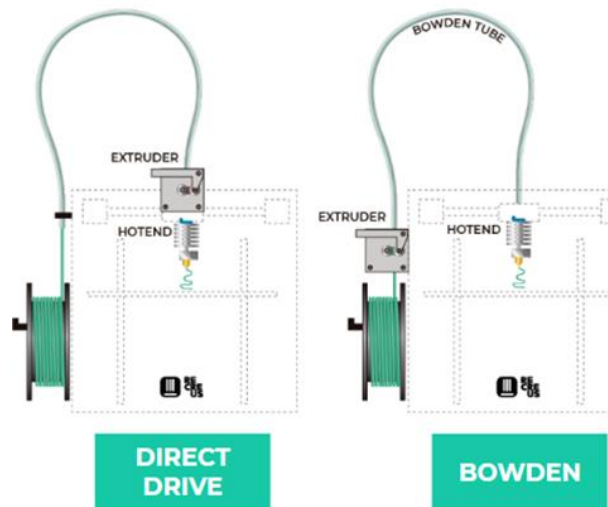


Figura 13. Extrusor Bowden. (provisional)

Los extrusores están compuestos por las siguientes partes [15]:

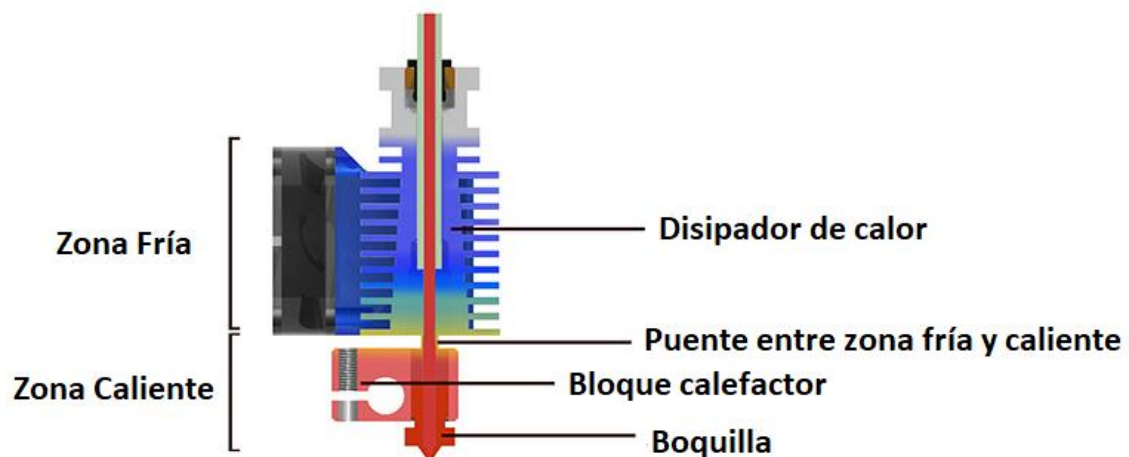


Figura 14. Partes del Hotend

- **Boquilla o Nozzle:** la punta del extrusor es el elemento a través del cual se deposita el filamento fundido para formar la pieza. Su diámetro determina el diámetro del hilo y la resolución de la impresora.
- **El bloque calefactor:** este elemento es el encargado de calentarse para fundir el filamento y que pase a través de la boquilla.

- **El puente entre zona fría y caliente:** esta zona separa las dos zonas de diferente temperatura del extrusor.
- **El disipador de calor:** es el elemento encargado de mantener la zona fría a la temperatura adecuada disipando el exceso de calor del bloque calefactor.
- **Hotend.** Es el encargado de fundir el filamento para que pueda pasar a través de la boquilla. El hotend está formado por un bloque calefactor que, con una resistencia eléctrica se calienta a la temperatura necesaria, controlada por un sensor de temperatura, para fundir el material que fluye gracias al extrusor.

3.2.1. IMPRESORA 3D

Para realizar las piezas impresas que componen este proyecto se ha usado la que tenemos disponible en el Laboratorio de Tecnología Electrónica que es una **iDeator12**. Esta impresora usa la tecnología Modelado por deposición fundida (FDM).

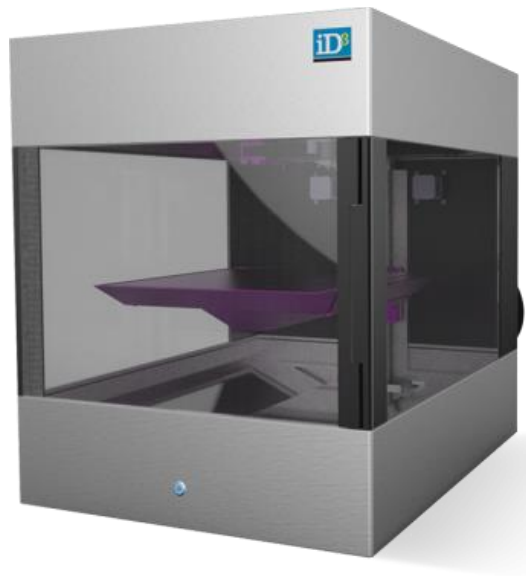


Figura 15. Modelo 3D de la iDeator12 (imprimalia3d.com/)

Las características de este modelo de impresora son [16].

- Tamaño de la impresora: 568 mm x 520 mm x 622 mm.
- Tamaño máximo de impresión: 305 mm x 305 mm x 305 mm.

- Extrusor dual de hasta 400 ° C y 0,35 mm de diámetro de boquilla.
- Formato de archivo STL.
- Interfaz con ordenador o pantalla LCD.

Esta impresora sigue el mismo funcionamiento que se ha explicado anteriormente.

Antes de cada impresión debemos configurar correctamente los parámetros y calibrar la impresora para evitar fallos en la impresión, pero hay que tener en cuenta que incluso con estas precauciones existe cierta variabilidad en los resultados y en las tolerancias que se obtienen. Por supuesto pueden surgir problemas como, por ejemplo, que se rompa el filamento, que se atasque el extrusor o que éste se desplace mínimamente de su posición.

El principal problema de esta impresora es que la cama de impresión solo está sujeta por uno de sus extremos, de forma que la pérdida de tolerancia en el extremo opuesto es muy alta. Esta circunstancia también se tuvo en cuenta, con lo que se colocaron cuatro ejes a la cama de impresión, evitando así este problema.

3.2.2. PIEZAS IMPRESAS

Como se sigue la filosofía de hardware libre en este proyecto, todas las piezas diseñadas se han puesto en la plataforma de desarrollo colaborativo Github (github.com/Avarjo/TFG-Vulcan) para que cualquiera pueda tener acceso a ellas. También se han usado piezas de otros proyectos y otras se han modificado para poder utilizadas en este caso.

A continuación, se describen los diseños mecánicos que se han impreso y su función:

- A. Sujeciones cama de impresión.** Se usarán ocho de estas piezas para sujetar con los rodamientos y que así se sujete y se permita el movimiento de la plataforma de impresión.

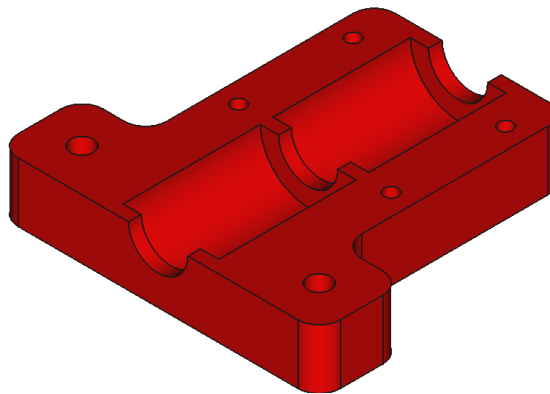


Figura 16. Sujeción cama de impresión a eje Z

- B. Soporte motor Eje Z.** Se encarga de fijar los motores Z a los perfiles de aluminio. Este diseño permite poder colocar los motores en una posición vertical y que se pueda acoplar con facilidad el tornillo sin fin.

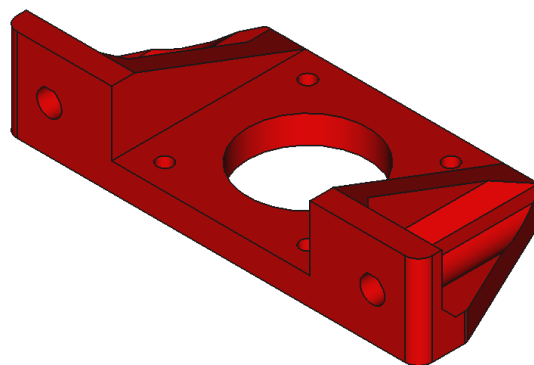


Figura 17. Soporte motor Eje Z

- C. Soportes motores XY.** Estos dos elementos se encargan de sujetar los dos motores para el sistema CoreXY como la varilla lateral. Una de las piezas es la que sujeta el motor a la estructura y la otra al otro extremo es donde se coloca el final de carrera para limitar el movimiento del carrito.

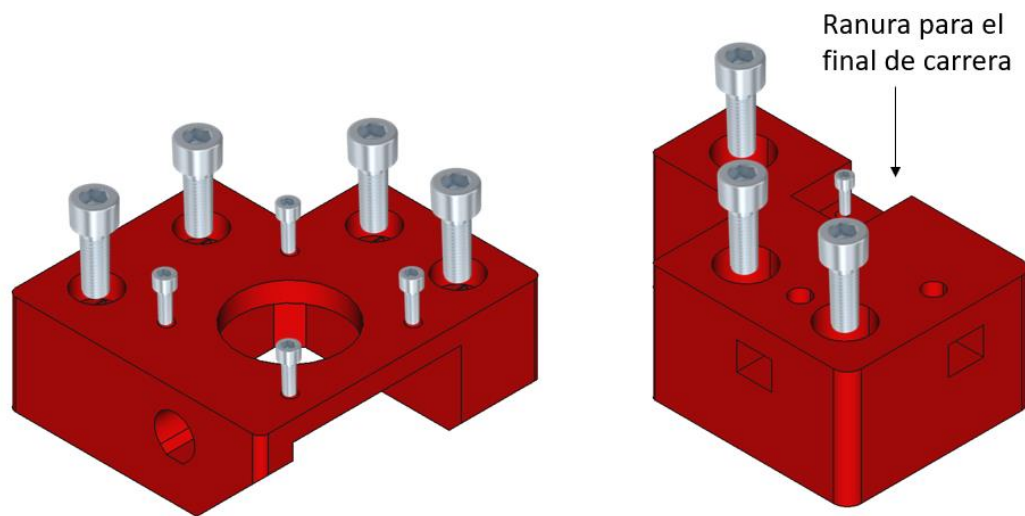


Figura 18. Soportes motores XY

D. Carrito. Esta formado dos piezas que van a sujetar los extrusores sobre las barras y sobre las que van que ir sujetos los extrusores. Además, está compuesto por dos piezas con forma de “trenes” que se encargan de sujetar la correa al carrito. La parte superior se utiliza para sujetar la correa y la parte inferior para tensarla.

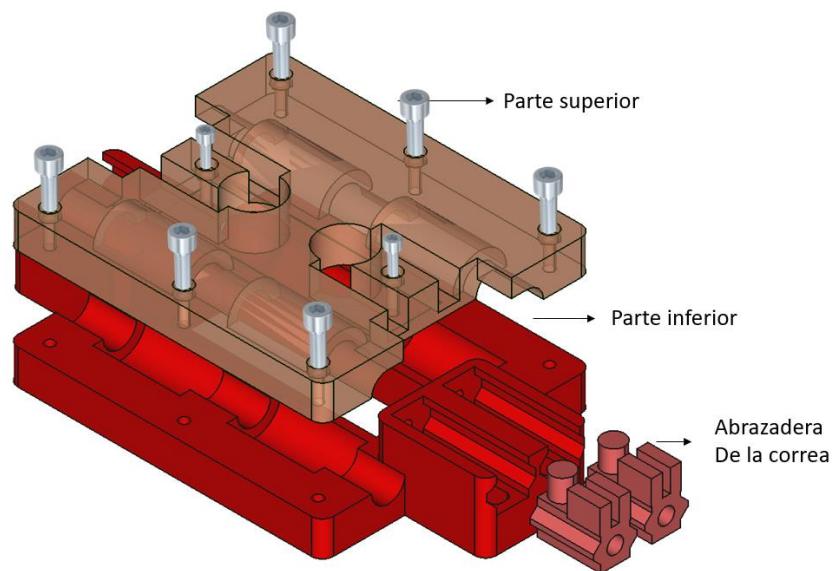


Figura 19. Carrito

- E. Abrazadera de correa.** El carrito contiene cuatro de estas piezas con forma de “trenes” que se encargan de sujetar la correa al carrito. La parte superior se utiliza para sujetar la correa y la parte inferior para tensarla

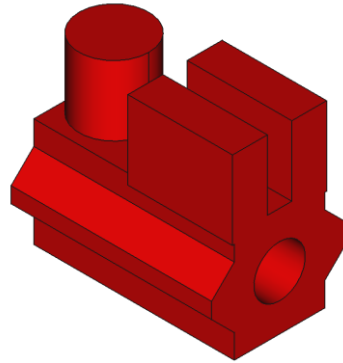


Figura 20. Abrazadera de correa

- F. Sujeción Extrusores.** Estas piezas se colocan dentro del carrito y son las piezas que van a sujetar los extrusores al propio carrito. Una vez colocados forman un bloque sólido con el carrito.

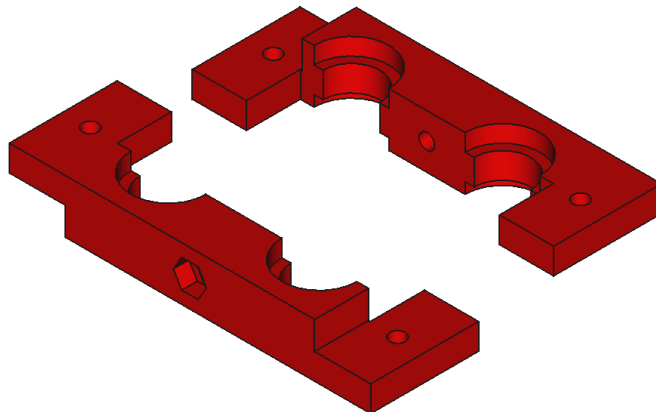


Figura 21. Sujeción de los extrusores

- G. Soporte Varillas del carrito.** Está compuesta por dos piezas impresas que sujetan las varillas que forman el sistema coreXY.

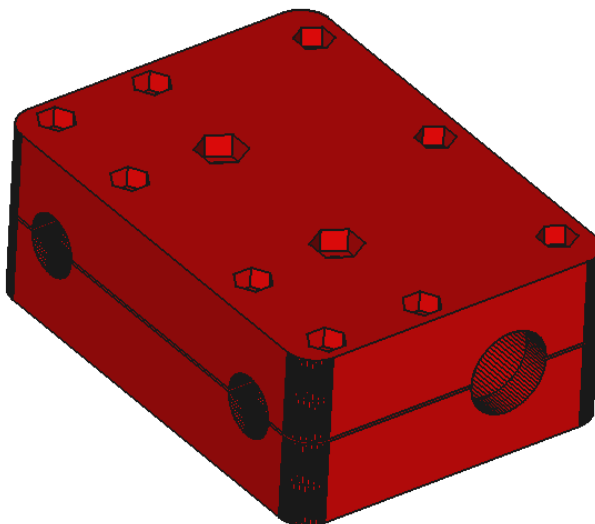


Figura 22. Soporte Varillas del carrito

3.2.3. CÁLCULOS DEL SISTEMA MECÁNICO

En este apartado se realizarán los cálculos necesarios para determinar la calibración de los componentes mecánicos y electrónicos del sistema.

Movimiento de la correa

Para la impresora se ha usado una correa dentada GT2, de 2 mm de espaciado entre dientes y 6 mm de ancho. Esta correa transmite el movimiento de los motores al carrito gracias a las poleas de 20 dientes de distribución.

Resolución del movimiento:

$\text{mm} / \text{vuelta} = \text{espacio entre dientes de la correa} * n^{\circ} \text{ de dientes por vuelta}$

$$\frac{2 \text{ mm}}{\text{diente}} * \frac{20 \text{ dientes}}{\text{vuelta}} = 40 \text{ mm} / \text{vuelta}.$$

Resolución de la correa / Número de pasos del motor * reducción del driver

$$\text{mm} / \text{micropaso} = \frac{\text{Resolución de la polea}}{\text{Resolución Nema 17} * \text{Reducción del driver}}$$
$$\frac{\frac{40 \text{ mm}}{\text{vuelta}}}{\frac{200 \text{ pasos}}{\text{vuelta}} * \frac{16 \text{ micropasos}}{\text{pasos}}} = 0,0125 \text{ mm} / \text{micropaso}$$

Esta resolución nace de los datos de los 200 pasos/vuelta que tiene el Nema17 utilizado, la relación de movimiento de la correa y la polea de 20 dientes y del 1/16 del stepping de la pololu, que es el paso que nos va a permitir la pololu. Esto nos da un cálculo de 80 pasos por mm.

El objetivo de los micropasos es conseguir un movimiento más suave de los motores, y es por ello que se aplica una reducción del movimiento del motor usando los dientes de la polea, la correa y las pololu. Finalmente, el número completo de micropasos para cada revolución es de 3200, consiguiendo así una resolución de 0,11°.

Tornillo sin fin

Para el movimiento en el eje Z de la plataforma de impresión se han utilizado dos tornillos sin fin:

- Resolución del movimiento vertical:

$$\text{Pasos} / \text{mm} = \frac{\text{Resolución motor} * \text{Reducción driver}}{\text{Paso de la varilla}}$$

$$\frac{200 * 16}{2} = 1600 \text{ pasos} / \text{mm}.$$

$$\frac{2 \text{ mm} / \text{vuelta}}{3200 \text{ micropasos} / \text{vuelta}} = 0,0006 \text{ mm} / \text{micropaso}.$$

3.3. HERRAMIENTAS HARDWARE Y SOFTWARE DE IMPRESIÓN

Para este proyecto se han usado distintas herramientas software tanto para el diseño de las piezas como para las pruebas de impresión:

Aplicaciones CAD. Como aplicación CAD, vamos a usar el antes nombrado **FreeCad**. FreeCad es un software de código abierto que permite la parametrización de las piezas y realizar pequeños cambios posteriormente. Es el mismo que se ha usado para el diseño de las piezas que componen esta impresora.

Aplicaciones CAM. El encargado de transformar nuestros diseños en un lenguaje que la impresora entienda va a ser el Repetier. Esto se debe a que es una aplicación muy utilizada por su facilidad en su interfaz.

Aplicaciones CAD

Las aplicaciones o programas CAD, son los programas que nos ayudan al diseño de las piezas en 3D para su impresión. Las siglas significan ‘Computer Aided Design’, es decir, diseño asistido por ordenador.

FreeCad

FreeCad es un software de código abierto que se usa para el modelado paramétrico de piezas en tres dimensiones. El modelado paramétrico nos permite modificar de forma sencilla los diseños volviendo al histórico de nuestro modelo y cambiando los parámetros [17]. Se rige por módulos, lo que permite añadirle extensiones pregrabadas o scripts de Python. Además, se ejecuta en un modelo totalmente paramétrico, lo que facilita el diseño.

Este programa de diseño 3D posee una interfaz muy completa. Las herramientas de la interfaz están ordenadas por bancos de trabajo, lo que nos permite tener un espacio de trabajo muy ordenado.

Además, se ha generado un modelo conjunto de todos los elementos para la detección de errores y la visualización del modelo antes incluso de empezar el montaje.

Aplicaciones CAM

CAM o 'Computer Aided Manufacturing', representa los programas o aplicaciones que se usan de paso intermedio en el paso del archivo de Diseño de los programas CAD a un lenguaje para que la impresora imprima. Para nuestra impresora se ha decidido usar el "Repetier Host", porque realiza las acciones de transformar el archivo .STL como de interpretar el G-code para la parte electrónica.

Repetier Host

Repetier Host es el software de código abierto que va a transformar nuestros archivos de formato .STL a un archivo, conocido como archivo de código G, que la impresora puede interpretar para imprimir la pieza.

El código G es un lenguaje de comandos utilizado por las máquinas de control número o CNC. Estos archivos recogen instrucciones de posición y tiempo de extrusión para generar la pieza. Explicado de forma sencilla, serían instrucciones como las que utiliza un GPS para mover los ejes de la pieza. En este código no se puede ver un modelo, sino una serie de instrucciones y el camino que realizará la impresora la imprimir la pieza [18]**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. .**

El primer paso tras importar la pieza a Repetier es el "Slicing". Este proceso divide nuestro modelo en láminas y marca el recorrido que deberá efectuar el extrusor para poder imprimir la pieza, es decir, para generar el código G. Hay una gran variedad de laminadores que se usan para este proceso, pero el más común y el que utiliza Repetier es el **Cura**.

Cura además nos permite varias opciones como la generación de puentes de apoyo en el caso de piezas huecas o partes de la pieza que se encuentren separados de la cama de la impresora. Estos apoyos extra que genera la impresora deberán ser eliminados de forma manual posteriormente.

El siguiente paso, es usar Repetier para configurar las características con las que se va a producir la impresión. Se configuran datos como las temperaturas del extrusor y de la cama, la velocidad de impresión, densidad etc. Toda esta configuración se verá reflejada en el código G con las instrucciones para imprimir la pieza [19].

Debe tenerse en cuenta la pieza que vamos a imprimir a la hora de configurar las propiedades de la impresión. Es decir, para piezas de alta carga estructural debemos poner una densidad más

alta que para otro tipo de piezas, por ejemplo. Según las funciones y características que deseamos en nuestra pieza se debe seleccionar la configuración.

Una vez tengamos elegidos los parámetros de impresión y se haya generado el Slice, se genera el código G y se envía por el puerto USB a nuestra impresora para su impresión. En caso de funcionar con una memoria externa se guardaría en ésta para trasladar el código a la impresora.

3.4. SISTEMA ELECTRÓNICO

En esta parte se va a explicar de forma más detallada las partes electrónicas que forman nuestra impresora. Haremos hacer dos distinciones, el sistema electrónico de control y el sistema de potencia. El primero se va a encargar de dar las órdenes, y el segundo de proporcionar la potencia exacta para controlar de forma milimétrica los motores para poder imprimir nuestras piezas.

Para la electrónica de nuestra impresora, se han utilizado diferentes componentes, como se puede observar en la Figura 23 En la figura se puede observar que todos los componentes van a unirse a través del Ramps 1.4, del que hablaremos más adelante [20].

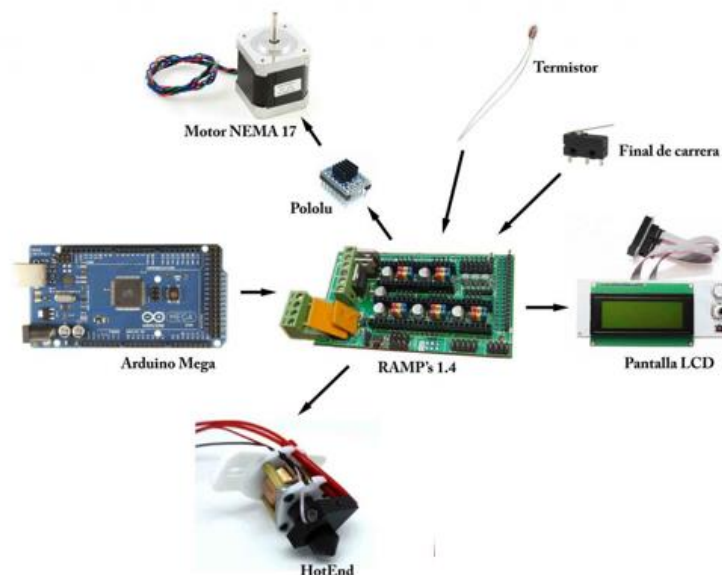


Figura 23. Partes Electrónicas de una Impresora 3D

3.4.1. SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL

El sistema electrónico es el “cerebro” de nuestra impresora. Este sistema nos permite recibir las ordenes de la pantalla LCD y darle órdenes a los motores para que realicen el movimiento del material y de los extrusores.

ARDUINO MEGA

Se realizó un estudio de diferentes placas que tenemos en el mercado para analizar cuál era la más conveniente para este proyecto. Finalmente se decidió usar una placa Arduino por su relación calidad precio.

El proyecto Arduino es otra de las razones que ha hecho posible este proyecto, ya que la tecnología ha avanzado mucho con los años. Las placas Arduino presentan una gran flexibilidad para su utilización en distintos proyectos, y su bajo coste las hace muy atractivas, así como el gran número de placas que han surgido a lo largo de los años al ser toda una tecnología de hardware y software abierto [21].

Tabla 1. Comparación Arduinos

Característica de Arduino	UNO	Mega 2560	Leonardo
Tipo de microcontrolador	Atmega 328	Atmega 2560	Atmega 32U4
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Pines digitales de E/S	14 (20 configurables)	54	20
Entradas analógicas	6	16	12
Salidas analógicas	0	0	0
Memoria de programa (Flash)	32 Kb	256 Kb	32 Kb
Memoria de datos (SRAM)	2 Kb	8 Kb	2.5 Kb
Memoria auxiliar (EEPROM)	1 Kb	4 Kb	1 Kb
Precio	20 €	35 €	18 €

Se realizó la comparación con las tres placas más utilizadas para las impresoras 3D: la Arduino Uno, la Arduino Mega y la Leonardo.

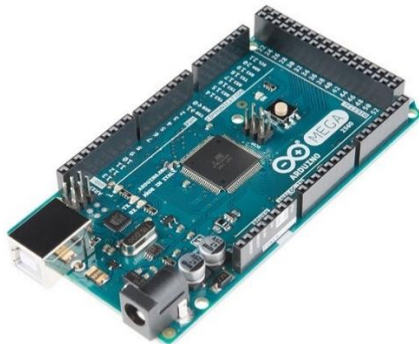


Figura 24. Placa Arduino Mega (tienda.bricogeek.com)

Las placas Uno y Leonardo son muy parecidas en todos los aspectos y tienen un precio muy reducido, pero finalmente se decidió utilizar la Arduino Mega 2560 por su mayor número de pines de digitales. Además, la placa Mega permitía la utilización de la RAMPS 1.4 de la que se hablará más adelante y que facilitaba todas las conexiones. Esta placa, Arduino Mega, tiene una gran capacidad de memoria, lo que permite futuras mejoras en el programa.

RAMPS 1.4

"Your 3D printer has a "brain" to do the processing and the "muscle" to do the work, but it's the RAMPS 1.4 that connects them. Find out what makes your 3D printer tick."

Reef Morse (All3dp.com)

Años de avances en el proyecto de impresión 3D RepRap han desarrollado una placa controladora que se adapta perfectamente a la Arduino Mega y a los motores para gestionar todas las funciones de una impresora 3D. Esta placa se desarrolló con el objetivo de facilitar la conexión de todos los componentes de nuestra impresora.

De forma resumida, la **Ramps 1.4** se coloca sobre nuestra placa Arduino Mega y nos "reordena" los pines digitales de nuestra placa para que podamos conectar con mayor sencillez los elementos de nuestra impresora, lo que nos va a permitir controlar los elementos de potencia sin peligro de dañar el Arduino.

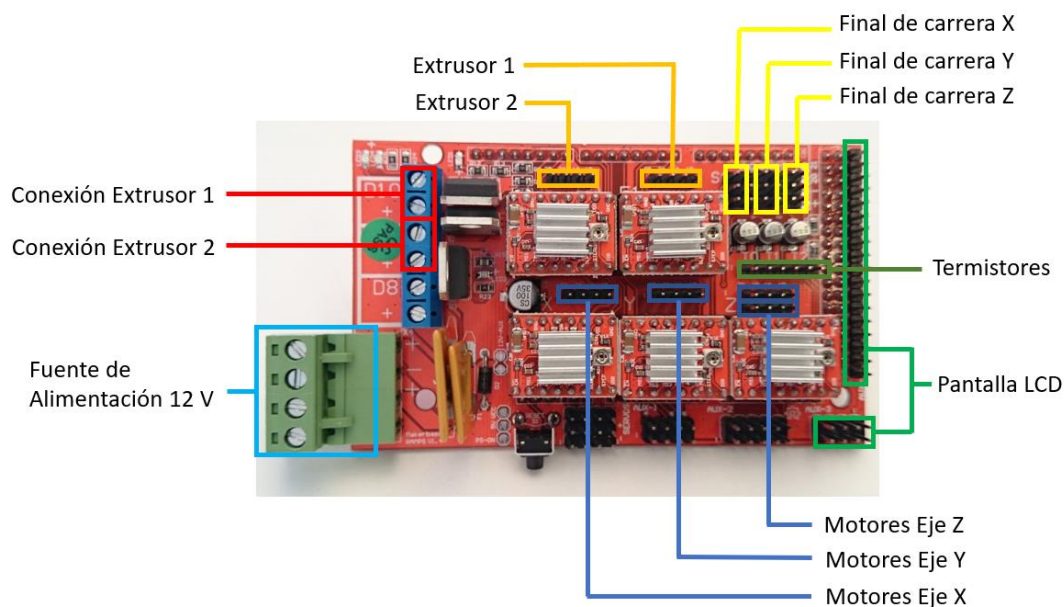


Figura 25. Partes Ramps 1.4

En la figura 25 podemos encontrar las diferentes partes que forman la Ramps 1.4. Podemos comprobar a simple vista como se ha diseñado para poder conectar de forma sencilla e intuitiva cada parte de la impresora. Además, conseguimos que los pines se puedan conectar de forma más segura con todas las entradas de nuestra placa.

Se puede destacar en la imagen los espacios para todos los elementos que vamos a incorporar en la impresora y de los que hablaremos en el siguiente punto: controladores pololus, extrusores, motores paso a paso y pantalla LCD.

Finales de Carrera

El final de carrera es un sensor electromecánico que detecta la posición de un elemento móvil gracias a un accionamiento mecánico. Son sensores de contacto que detectan la llegada de un elemento a una posición. Estos elementos son de salida binaria, es decir, la única información que aporta al sistema es la de si el objeto está en una posición o no lo está [22]. **Error! No se encuentra el origen de la referencia. .**

Se reconoce como electrónica de control porque nos van a realizar una doble función. Por un lado, van a marcar el punto cero de cada uno de los ejes, y al mismo tiempo nos sirven de

seguridad para limitar el movimiento que se puede realizar en cada eje. Se van a usar tres finales de carrera, uno para cada eje.

En términos generales vamos a tener finales de carrera de dos tipos, NC (normalmente cerrados) o NA (normalmente abiertos) [23]. La diferencia va a ser si van a estar cerrados o abiertos cuando se encuentren en estado de reposo. En este proyecto se usan finales de carrera que van a tener 3 pines, permitiendo la opción de usarlos como NC o NA. Aunque finalmente se han usado como NC.

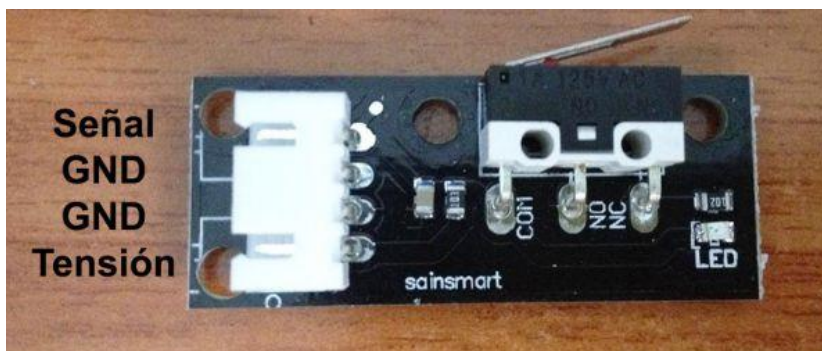


Figura 26. Final de carrera

Los finales de carrera se han configurado con la opción de “endstoppullups” en nuestro firmware. Esto significa que en todo momento se va a proporcionar una tensión de 5 V a través de la señal del final de carrera, y nuestro conector de NC va a estar conectado a tierra. De esta forma mientras el final de carrera no sea activado a nuestro conector de señal no le va a llegar ninguna corriente, y en el momento en el que se abra el contacto le llegarán 5 V.

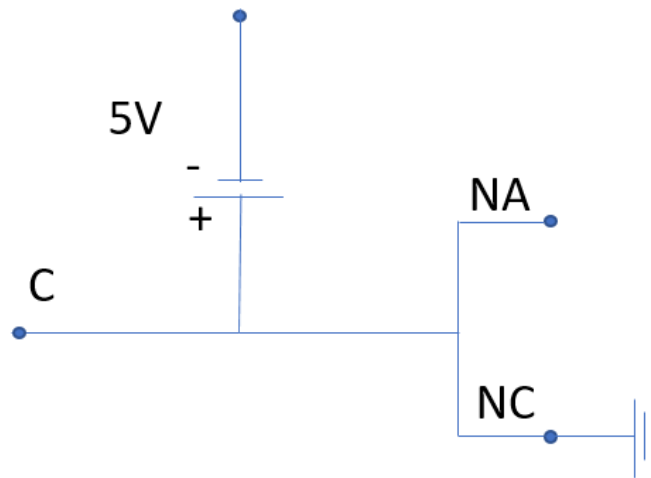


Figura 27. Esquema final de carrera con pull up

Pantalla LCD

Para hacer más interactivo al usuario el uso de la impresora, se ha añadido al proyecto una pantalla LCD con un potenciómetro. El modelo que se ha utilizado es el “LCD Full graphic Smart controller”.

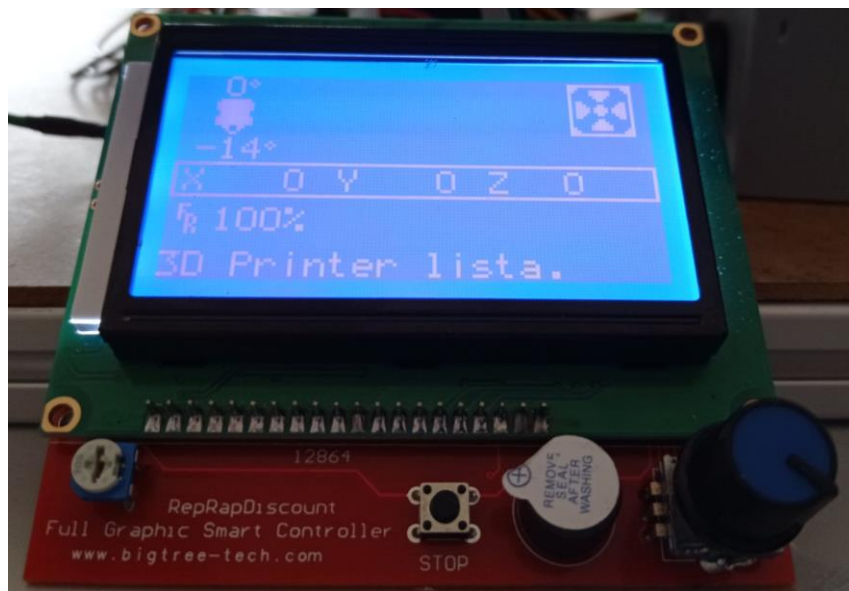


Figura 28. LCD Full Graphic Smart controller

Este modelo incorpora un potenciómetro que nos permite movernos por los distintos menús de nuestro firmware. Esto nos permite configurar algunos factores de nuestra impresión

desde la propia pantalla LCD, y nos da la posibilidad de incorporar una tarjeta de memoria SD, añadiendo la posibilidad de imprimir sin estar conectada a un ordenador.

3.4.2. SISTEMA ELECTRÓNICO DE POTENCIA

La electrónica de potencia es la parte de la electrónica encargada del estudio de dispositivos, circuitos y procedimientos para el control de la energía eléctrica [24]. Dicho de otra manera, son los elementos que van a proporcionar la potencia necesaria para mover los motores.

Motores paso a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, girando una cantidad de grados en función de sus entradas de control. Los motores paso a paso empleados son NEMA 17. Se usan este tipo de motores porque nos permiten tener un mayor control sobre el desplazamiento que producen.

En este proyecto se han usado cuatro motores paso a paso. Dos motores se usan para mover el eje Z y los otros se usan para formar el sistema Core XY. Estos motores, debido a su robustez y a su relación calidad precio, son los más utilizados en la creación de impresoras 3D.



Figura 29. Motor Nema 17

Este motor es bipolar y tiene una resolución de 200 pasos por vuelta, que además dispone 4 hilos que dan acceso a las 2 bobinas que permiten su movimiento.

Características del motor Nema 17:

Tabla 2. Características motores paso a paso

	TENSIÓN NOMINAL	INTENSIDAD NOMINAL	PAR	PASOS POR VUELTA
Nema 17	3,1 V	2,5 V	4800 g*cm	200

Al ser un motor bipolar, tiene dos cables de salida por cada bobina. Sin el uso de los drivers tendríamos que realizar un circuito electrónico al motor conocido como puente H que nos permitiría que el motor girara en ambos sentidos. Gracias a los drivers podemos ahorrarnos este circuito [25].

Controlador Pololu A4988

Los controladores pololu son los drivers que van a controlar los motores paso a paso, es decir, van a gestionar la potencia que se entrega al motor. Para poder llevar a cabo esta tarea, los controladores Pololu están compuestas por un potenciómetro con el que se puede regular la corriente del motor.

Tabla 3. Especificaciones pololu A4988

ESPECIFICACIONES	CORRIENTE NOMINAL	CORRIENTE MÁXIMA	VOLTAJE
Driver A4988	1.5 A	2 A	8-35 V
Driver drv8825	1.5 A	2,2 A	8,2 - 45 V

En el mercado podemos encontrar varios modelos de controlares de motores paso a paso. En la figura 30 podemos observar dos modelos comunes en el mercado: el A4988 y el Drv8825. El factor que los diferencia es el hecho de que el modelo Drv8825 tiene una mayor corriente máxima lo que le permite dar más potencia a los motores y permiten tener y la reducción de los micropasos puede llegar a 1/32.

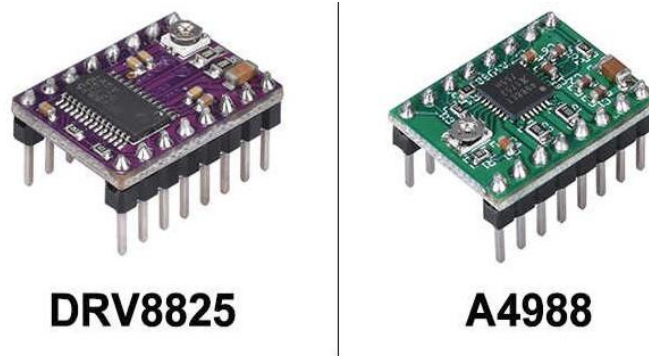


Figura 30. Modelos Pololu

Los controladores pololu son elementos muy sensibles que pueden dañarse con bastante facilidad, además, como manejan mucha corriente, se les coloca unos disipadores de calor. Para la impresora se han utilizado cinco controladores Pololu A4988, tres de ellos para los controladores de los tres movimientos de la impresora (X, Y, Z) y dos más para controlar cada uno de los extrusores.

Los pines del controlador son:

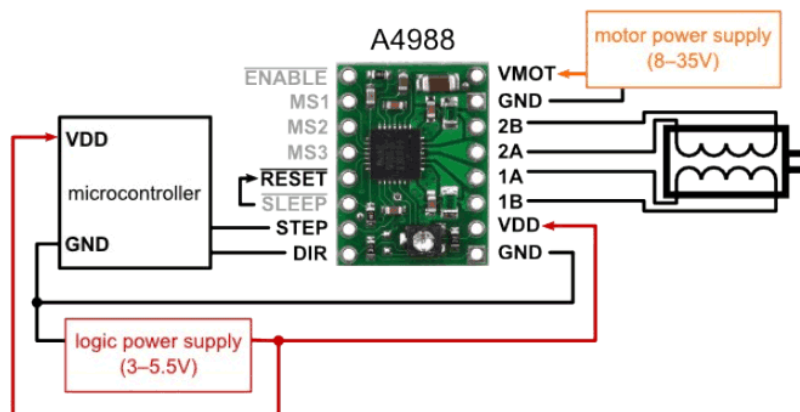


Figura 31. Pines Pololu A4988

Micropasos

Para conseguir una mayor resolución se usan los llamados “micropasos”, que consiste en crear unos pasos intermedios con las bobinas del motor. Regulando la corriente que se le entrega podemos conseguir estos pasos intermedios, algunos pueden funcionar con un paso completo

(1/1), y otro pueden funcionar hasta de 1/32 microstepping de paso. Esto significa que por cada 32 pasos que recibe el driver, el motor se mueve 1 paso mecánico.

Esto se suele conseguir utilizando los pines MS1, MS2 y MS3 (*Figura 31. Pines Pololu A4988*) que se encuentran en la ramps. Usamos unos drivers configurar la configuración de la reducción de los micropasos tal como indica la *Tabla 4. Configuración de los pasos del motor*.

Tabla 4. Configuración de los pasos del motor

MS1	MS2	MS3	Microstep
Low	Low	Low	Paso completo
High	Low	Low	Semipaso($\frac{1}{2}$)
Low	High	Low	$\frac{1}{4}$ paso
High	High	Low	$\frac{1}{8}$ paso
High	High	High	$\frac{1}{16}$ paso

Calibración de corriente Pololu

Debemos controlar la intensidad máxima que les llega a los motores. Si es muy baja, los motores no tendrán suficiente par para moverse, por lo que perderán pasos. Pero si por el contrario la intensidad es demasiado alta, los drivers pueden calentarse demasiado, reduciendo su tiempo de vida o llegando directamente a quemarse.

Para saber a qué corriente deben trabajar los motores debemos comprobar el “datasheet” de las pololu A4988 a utilizar.

Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% $I_{tripMax}$] (%)	Phase 2 Current [% $I_{tripMax}$] (%)	Step Angle (°)
	1	1	1	1	100.00	0.00	0.0
				2	99.52	9.80	5.6
			2	3	98.08	19.51	11.3
				4	95.69	29.03	16.9
		2	3	5	92.39	38.27	22.5
				6	88.19	47.14	28.1
			4	7	83.15	55.56	33.8
				8	77.30	63.44	39.4
1	2	3	5	9	70.71	70.71	45.0

Figura 32. Extracto Datasheet Pololu A4988

Una bobina trabajando al máximo de su capacidad circula el 70% de su corriente máxima. Mirando el datasheet de los motores Nema 17 comprobamos que la intensidad máxima a la que trabajan es a 1,5 A, que aplicando el 70% nos da un valor aproximado de 1 A.

Para llevar a cabo la calibración tenemos que realizarla modificación del pololu a “motor parado”. Como ya sabemos los motores paso a paso realizan el movimiento o paso con cada pulso eléctrico que le da el sistema de control. A motor parado significa que no se le da ningún pulso, solo corriente, de esta forma el motor está funcionando, pero no en movimiento.

Una vez que hemos programado en nuestro Arduino el sencillo programa para realizar esta acción debemos colocar el amperímetro en serie con nuestra fuente de alimentación para medir la corriente y mover el potenciómetro de nuestra pololu hasta que alcance 1 A.

3.4.3. MARLIN

Firmware

El firmware es un tipo de software que es capaz de proporcionar un control de bajo nivel específico para una función en concreto. Este software nos a proporcionar un sistema sencillo para poder leer los Gcode y tener funcionalidades en la pantalla LCD.

Para el caso de nuestra impresora se utilizará como Firmware el **Marlin**. Se utiliza este porque es un firmware de código abierto muy versátil que, realizándole solo una modificación sencilla en su código, se puede adaptar a muchas impresoras diferentes.

Este archivo configurado se encuentra subido en la plataforma Github.

3.4.3.1. CONFIGURANDO MARLIN

El código subido a nuestra placa Arduino Mega se encuentra subido en <https://github.com/Avarjo/TFG-Vulcan>.

Para poder editar el código del Marlin podemos usar el IDE de Arduino además de diferentes editores de texto como Notepad, Sublime, Atom, etc. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En este proyecto se ha usado el IDE de Arduino que se puede descargar en su página oficial: <https://www.arduino.cc/> en la sección de Software->Downloads [27].

Una vez tengamos descargada la carpeta de Marlin de Github solo debemos compilar el código y subirlo a la placa Arduino mega.

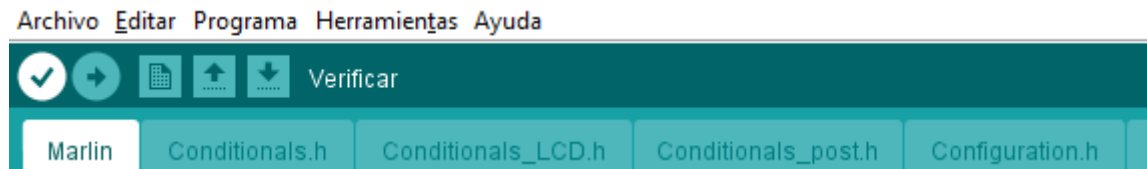


Figura 33. Compilar Código Marlin

Cuestiones a tener en cuenta a la hora de configurar Marlin

El código subido en Github está específicamente configurado para la impresora de este proyecto. En caso de modificar las especificaciones de la impresora debemos tener en cuenta los siguientes aspectos.

En el momento de redacción de esta memoria podemos encontrar la versión 2.0 del firmware en la página oficial <https://marlinfw.org/meta/download/> [13].

Description	Version	Download	Configurations
Latest release <i>Supports AVR and ARM Arduino and PlatformIO</i>	2.0.7.2	2.0.x.zip	View / Download
Previous release <i>Supports AVR Arduino and PlatformIO</i>	1.1.9.1	1.1.x.zip	View / Download
Older release <i>Supports Arduino 1.6.8 and up</i>	1.0.2-2	1.0.x.zip	

Figura 34. Versiones disponibles de Marlin

La versión 2.0 mejora muchos aspectos de la ordenación y calidad de nuestro código, lo que facilita su configuración. Pero hay que tener en cuenta que tiene un error en el código por el cuál no permite el uso de pantallas LCD. Este error surge porque para poder utilizar la pantalla LCD necesitamos hacer uso de la librería de Arduino “U8glib.h”, y cuando intentamos compilar con esta librería incluida da error por falta de memoria en la tarjeta. El código intenta subir a la placa la configuración de todos los tipos de pantallas LCD existentes lo que hace que el código sea demasiado largo.

Por esta razón para este proyecto se utilizó la versión 1.1.9 que si permitía usar la pantalla LCD sin problemas.

3.5. ESTUDIO ECONÓMICO

A continuación, se presenta el estudio económico para determinar el precio aproximado del proyecto. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no se ha contabilizado el coste del desarrollo de los equipos mecánicos utilizados en el laboratorio ni el filamento usado en las piezas impresas.

Componentes mecánicos

Componente	Unidades	Precio Unidad	TOTAL	Vendedor
Motor Nema 17	3	12,5	37,5	HTA3D

Correa GT2 (2 m)	1	4,95	4,95	HTA3D
Poleas GT2 (20 dientes)	2	5,74	11,48	Rodavigo
Cojinete lineal 8mm LM8UU	8	1,48	11,84	Motedis
Acoplamiento Aluminio 5 mm	2	2,75	5,5	Electrosdr
Tornillo M4x30	200	4,4	880	RationalStock
Arandela M4 DIN-9021		0,0056	0	RationalStock
Arandela M6 DIN-9021		0,0154	0	RationalStock
Rodamiento 624ZZ		0,35	0	Createc 3D
Tuercas M4 DIN 934		0,12	0	Norelem
Perfil 400 mm	16	1,14	18,24	Motedis
Perfil 600 mm	4	1,71	6,84	Motedis
Perfil 295 mm	2	0,85	1,7	Motedis
Perfil 280 mm	2	0,85	1,7	Motedis

Componentes electrónicos

Componente	Unidades	Precio Unidad	TOTAL	Vendedor
Ramps 1.4	1	5,49	5,49	HTA3D
POLULU A4988	5	1,79	8,95	HTA3D
Cable USB tipo B 1.8 metros.	1	2,14	2,14	RS Componentes
Placa arduino mega	1	12,25	12,25	HTA3D
Final de carrera	3	0,58	1,74	HTA3D

3.6. LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO

A continuación, se presentan distintas formas de mejorar la impresora 3D.

3.6.1. CAMA CALIENTE

La primera mejora disponible es la incorporación de una cama caliente.

Una cama caliente se encarga de conseguir una temperatura específica para que el material se adhiera en el proceso de impresión con mayor facilidad, evitando fallos, y cuando se enfríe se despegue con mayor facilidad.

Actualmente tenemos dos tipos de camas calientes [4]:

- **De tipo PCB o MK2.** Son placas de aluminio con un circuito eléctrico en su interior sobre toda la superficie de la cama. Las podemos encontrar de 12 o de 24 V.
- **De silicona.** Estas camas calientes están hechas de una silicona flexible con un adhesivo en una de las caras. Normalmente éstas van pegadas sobre una plancha de aluminio, además sobre el aluminio se coloca una capa de cristal donde se va a imprimir la pieza. Estas camas se calientan mucho más rápido que las PCB.



Figura 35. Cama caliente tipo PCB

Los precios de las camas de impresión pueden variar entre los 13 y los 50 euros.

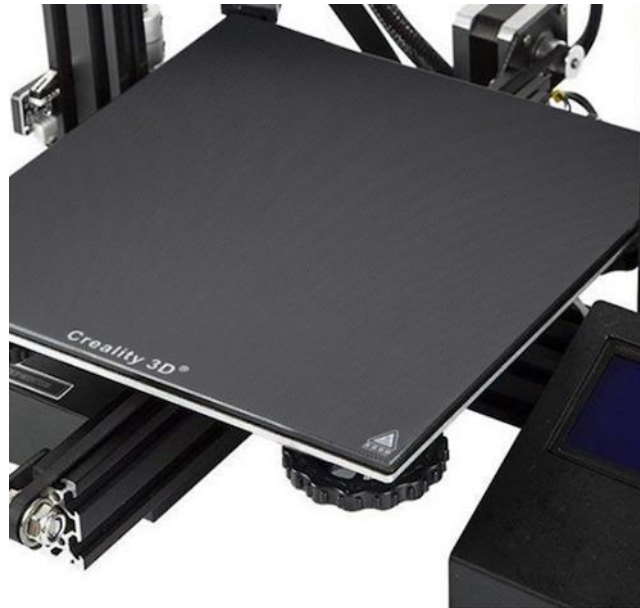


Figura 36. Cama caliente de silicona

En los modelos de cama más especializados y económicamente altos, se incluye una capa de cristal templado sobre la superficie calefactora que mejora la adherencia en cada trabajo.

3.6.2. AUTONIVELADO CON UN SENSOR INDUCTIVO.

Una de las tareas más pesadas a la hora de la impresión 3D es la calibración de nuestra impresora. Para realizar esta tarea de forma automática existen diferentes sensores, y en este apartado nos centraremos en el sensor inductivo.



Figura 37. Sensor inductivo para auto nivelado

Esta unidad se coloca junto a la punta del extrusor y calibra la distancia hasta la cama caliente antes de cada impresión, evitándonos así tener que hacerlo de forma manual.

3.6.3. RASPBERRY PI Y CÁMARA

Otra forma de mejorar la impresora es usando un microcontrador con más capacidades. Usando la Arduino Mega estamos limitados a tener que usar la impresora mediante un cable de nuestro ordenador o mediante la tarjeta SD.

Si sustituimos el microcontrolador por una Raspberry, tenemos la posibilidad de controlar nuestra impresora de forma remota desde un navegador web. Esto sumado a la incorporación de una cámara web, nos permitiría ver el estado de nuestra impresión desde cualquier sitio.



Figura 38. Placa Raspberry Pi 3 (impresoras3d.com)

Esta mejora implicaría la modificación de las conexiones y la configuración del firmware.

3.6.4. MEJORA DE ABRAZADERAS DE LA CORREA

La pieza de la abrazadera está pensada para poder tensar la correa, pero su diseño no es el más óptimo ya que, debido al diseño del carrito, la manipulación del tornillo que tensa la correa es muy complicada. Para poder mejorar este diseño se plantean dos opciones:

- a) **Rediseñar la parte superior del carrito para que el tornillo sea más accesible.**
Esta opción es la menos adecuada porque afectaría a la estabilidad del carrito sobre la barra.
- b) **Rediseñar la pieza impresa abrazadera de la correa.** Si modificamos la pieza para que el tornillo se coloque en la dirección opuesta y se coloca dos tuercas a los lados del tornillo, podremos controlar con mayor facilidad la tensión de la correa.

Capítulo 4. CONCLUSIONES

En este apartado se analizan los objetivos planteados en el capítulo 2 y se describen las competencias adquiridas.

Respecto a los objetivos:

- Se logra el objetivo de diseñar una impresora 3D de coste reducido, mediante la consecución de piezas más económicas y la impresión de otros componentes usando impresión 3D.
- Para cumplir con la filosofía de Hardware Libre se ha procedido a dejar disponible toda la documentación y diseños de este proyecto en la plataforma Github.
- Otro de los objetivos obtenidos es la consecución de una ampliación de la plataforma de impresión mediante la modificación de nuestra impresora para que recoja una mayor extensión y así poder imprimir piezas de mayor tamaño.
- Por supuesto, habiendo conseguido optimizar el diseño para crear propios componentes para el prototipo, y siguiendo la metodología RepRap, se deja el proyecto abierto para futuras modificaciones y mejoras.

Para concluir, se garantiza que se han cumplido exitosamente la adquisición de conocimientos que este TFG proporcionaba, dentro del sector de la ingeniería:

- **Diseño electrónico:** se ha aprendido a seleccionar componentes para la creación del sistema electrónico, para permitir a los motores el movimiento requerido. Como procesos utilizados se ha llevado a cabo soldadura, montaje y comprobación del funcionamiento de los elementos.
- **Diseño mecánico:** adquisición de conocimientos para el manejo de software de diseño para la impresión de las piezas requeridas para nuestro modelo propio.

Capítulo 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. JONES, R., HAUFE, P., SELLS, E., IRAVANI, P., OLLIVER, V., PALMER, C. y BOWYER, A., 2011. **RepRap – the replicating rapid prototyper**. *Robotica*, vol. 29, no. 1, pp. 177-191. ISSN 1469-8668, 0263-5747. DOI 10.1017/S026357471000069X.
- [2]. **What is open hardware?** *Opensource.com* [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://opensource.com/resources/what-open-hardware>.
- [3]. **RepRap** [en línea]. [Consulta: 05 Septiembre 2020]. Disponible en: <https://reprap.org/wiki/RepRap/es>.
- [4]. **3D printing - Wikipedia**. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing.
- [5]. **RepRap/es - RepRap**. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://reprap.org/wiki/RepRap/es>.
- [6]. FERNÁNDEZ, Y., 2020. **Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno**. *Xataka* [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como funciona-que-puedes-hacer-uno>.
- [7]. **Historia. Arduino: Tecnología para todos** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: <http://arduino4dhtics.weebly.com/historia.html>.
- [8]. **gnu.org**. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 8 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html>.
- [9]. **Los 11 tipos de impresoras** – Guía 2020. *All3DP* [en línea], 2020. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>.
- [10]. **Tipos de impresoras 3D FDM: Delta, Cartesiana, Polar y Brazo robótico**. *3Dnatives* [en línea], 2020. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-190620172/>.
- [11]. **josefprusa/PrusaMendel**. *GitHub* [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://github.com/josefprusa/PrusaMendel>.
- [12]. COBO, J.G., 2014. **Theta, una impresora polar libre con 4 extrusores**. *Hardware libre* [en línea]. [Consulta: 7 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.hwlibre.com/theta-una-impresora-polar-libre/>.

- [13]. **MARLINFIRMWARE, [sin fecha]. Download. Marlin Firmware** [en línea]. [Consulta: 1 marzo 2021]. Disponible en: <https://marlinfw.org/meta/download/>
- [14]. **CoreXY | Cartesian Motion Platform.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <http://corexy.com/>.
- [15]. **Sistemas de extrusión directa y bowden.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 27 diciembre 2020]. Disponible en: https://filament2print.com/es/blog/94_extrusion-directa-bowden.html.
- [16]. **Impresora 3D iDeator 12 de | Precios y características en Imprimalia 3D. Imprimalia 3D** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 8 febrero 2021]. Disponible en: <https://imprimalia3d.com/services/ideator-12>.
- [17]. **El software FreeCAD, herramienta para el diseño 3D. 3DALIA** [en línea], 2018. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://3dalia.com/software-freecad/>.
- [18]. **<https://www.repetier.com/>. Repetier Software** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://www.repetier.com/>.
- [19]. **Qué es el G-Code y su importancia en la impresión 3D. Luis Llamas** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/que-es-el-g-code-y-su-importancia-en-la-impresion-3d/>
- [20]. **Zona Maker - Electrónica de la impresora 3D.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/3-electronica-crea-imp>.
- [21]. **Ventajas de Arduino, descúbrelas | The Green Monkey Barrio Salamanca. The Green Monkey Barrio de Salamanca** [en línea], 2018. [Consulta: 16 enero 2021]. Disponible en: <https://www.thegreenmonkey.es/barriodesalamanca/ventajas-de-arduino/>.
- [22]. **NOVELEC |, por E.G., [sin fecha].** Finales de carrera: Qué son y características principales. Grupo Novelec [en línea]. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/finales-de-carrera-que-son-y-caracteristicas-principales/>.
- [23]. **Zona Maker - Los finales de carrera.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/13-crea-imp-endstop>.
- [24]. **PRENTICE HALL, 2013. Power Electronics Circuits, Devices and Applications.** 4th Edition. S.l.: Pearson. ISBN 0-13-312590-4.
- [25]. **MECAFENIX, I., 2017. Puente h para control de motores. Ingeniería Mecafenix** [en línea]. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/puente-h-control-motores/>.

- [26]. **Guía completa: Configurar Marlin 2 desde cero y no morir en el intento. 3DWork** [en línea], 2020. [Consulta: 1 marzo 2021]. Disponible en: <https://3dwork.io/configurar-marlin-2-0-x-desde-cero/>.
- [27]. **Arduino - Home.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 30 Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/>.

Apéndice A. MONTAJE IMPRESORA

3D

5.1. PASO 1 – MONTAJE ESTRUCTURA EXTERNA

Tras haber adquirido los perfiles de aluminio debemos cortarlos con las herramientas necesarias para tener los siguientes tamaños y vigas disponibles:

- 4x 700 mm 20x20 mm
- 8x 590 mm 20x20 mm
- 8x 670 mm 20x20 mm



Figura 39. Barras 700 mm

El montaje de las barras se realiza tal como se ve en la figura usando las diferentes barras para formar la estructura de la impresora. Para añadir sujeción y mejorar la unión entre nuestras barras se usarán dos tipos de escuadras, que aparecen en el estudio económico.

- Escuadra Pequeña: 32 x Escuadra 30 tipo-B
- Escuadra Grande: 12x Escuadra 40x80 Tipo-I ranura 8

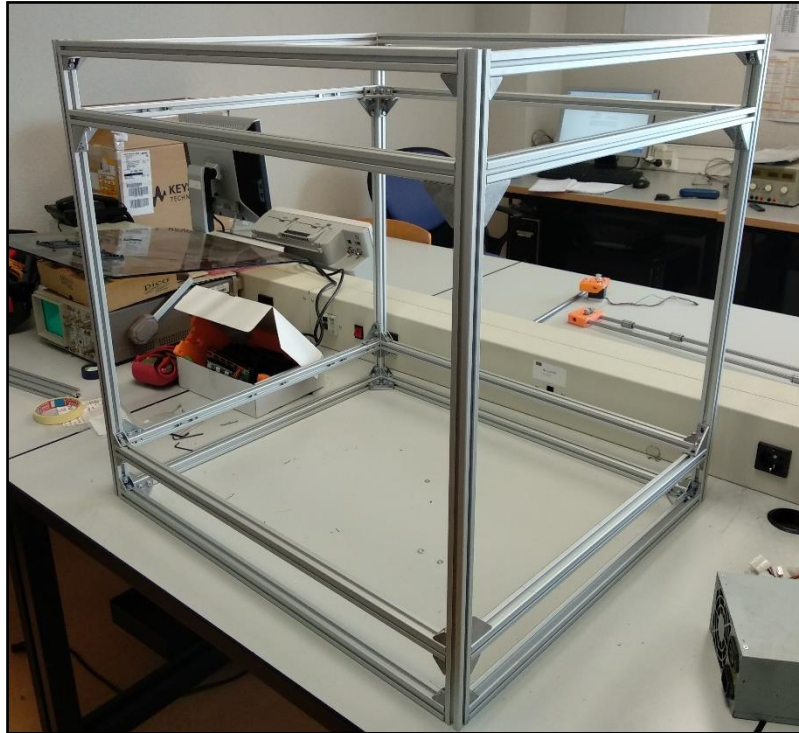


Figura 40. Estructura Externa

Para hacer que nuestra plataforma sea de mayor tamaño, usaremos las barras de 670 mm en la parte delantera y las barras 590 mm más cortas para formar el rectángulo.

Usaremos distintas escuadras dependiendo de donde irán colocadas. Por ejemplo, tal como se observa en la figura 41 el cuadrado inferior, usaremos dos escuadras pequeñas y una grande en la parte interior.



Figura 41. Esquina parte inferior. Estructura Externa.

Para el segundo nivel, donde más adelante se sujetarán los tornillos sin fin y uno de los motores, usaremos de nuevo una escuadra grande en la parte lateral del rectángulo, donde hemos colocado las barras más cortas, y pequeñas en el resto de lados.

Para la parte superior, figura 42 donde tendremos otra vez dos niveles diferenciados usaremos escuadras pequeñas en la parte superior, ya que no sujetará más piezas en ese lado, y escuadras grandes para darle más estabilidad, ya que le darán sujeción al carrito con el extrusor.



Figura 42. Esquina Superior. Estructura Externa.

Una vez realizado este procedimiento en las ocho esquinas (cuatro inferiores y cuatro superiores) tendremos toda la estructura externa de nuestra impresora.

5.2. PASO 2 – MONTAJE MOTORES

En este paso colocaremos los motores sobre sus estructuras impresas y posteriormente se irán montando sobre la estructura.

En la figura 43 se puede observar el estado final de los motores superiores, es decir, los motores del eje X e Y. Están unidos a la estructura impresa mediante 3 tornillos de menor tamaño y a la estructura externa mediante 4 tornillos de mayor tamaño. Todos deben colocarse con sus respectivas arandelas para que se mejore el ajuste, de forma que los materiales que vamos a necesitar son:

- 6 x Tornillos **DIN 912 M2 x 10** y 6 x arandelas **DIN 125**.
- 8x Tornillos **DIN 912 M3 x 10** y arandelas **Arandelas M4 DIN 125**.
- Piezas impresas: “**Motor XY_Der**” “**Motor XY_IZ**”.
- 2x Motores Nema 17.
- 2x Poleas **GT2 20** dientes.

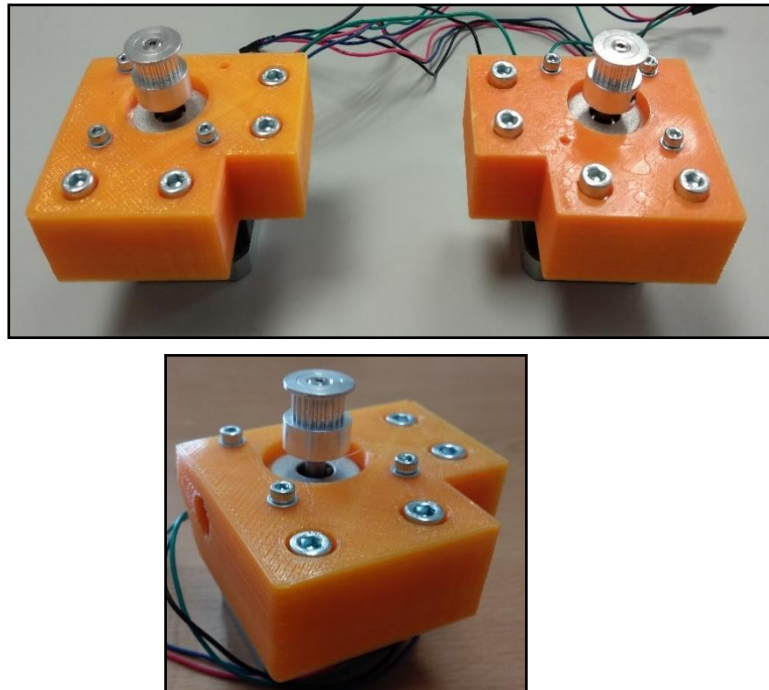


Figura 43. Motores montados en las piezas impresas

A continuación, prepararemos toda la estructura que, acompañado de los motores, cierra el círculo y sujeta las barras donde van colocados el carrito y los extrusores.

Para ello el siguiente paso será montar las piezas impresas de las otras dos esquinas. Necesitaremos para cada pieza impresa:

- Piezas impresas “**Core XY_Derecho**” y “**Core XY_Izquierdo**”

- Tornillos **Din 912 M4x10**
- Tornillos **Din 912 M4x30**
- 2 x tuerca
- 4x Arandela grande DIN 9021
- 6x Arandela pequeña **M2 DIN 125**
- 2x Rodamiento **Rodamiento 624ZZ**
- 3x Tornillo **Din 912 M4x20**
- 3x Arandela **M3 DIN 125**.

Los 3 tornillos Din 912 M4x10y las 3 arandelas M4 DIN 125 serán las que sujeten la pieza a la estructura.

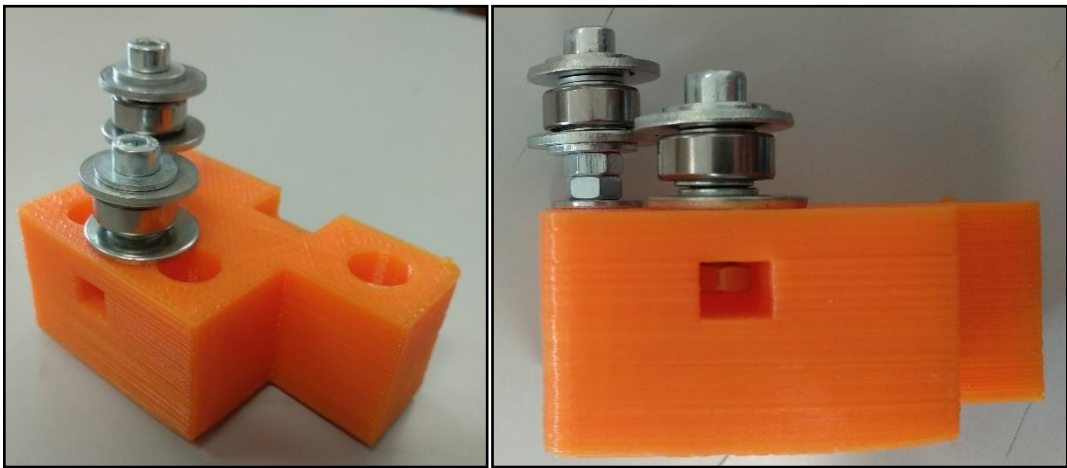


Figura 44. Colocación Core XY_Derecho” y “Core XY_Izquierdo

5.3. PASO 3 – MONTAJE DEL CARRITO

Antes de montar el propio carrito sobre la estructura debemos colocar las barras con los rodamientos sobre los que irá colocado.

Lo primero que vamos a necesitar son 2 pares de las piezas impresas “**Soporte Varillas del carrito**” que forman en enganche de las barras. Cada una usará las siguientes piezas:

- 8x Tornillo Din 912 M3x20
- 8x Arandela
- 8x Tuerca M3
- 2x Barra 520 mm

- 2x Rodamientos **Rodamientos Lineales LM8UU**

Los tornillos y las pequeñas arandelas se usarán para unir las dos piezas impresas como se observa en la figura 45.

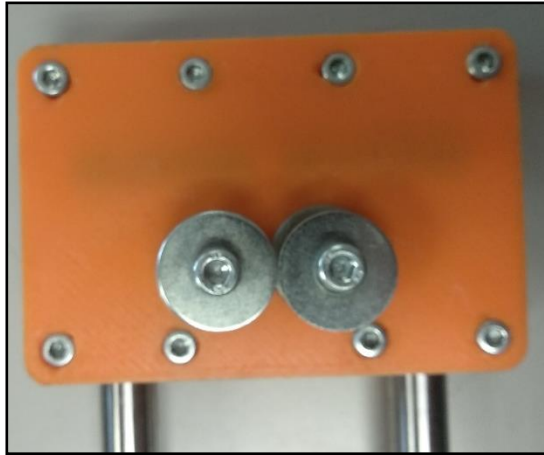


Figura 45. Sujeción barras del carrito

Es importante que antes de cerrar las dos piezas impresas metamos las barras de 52 cm con sus 4 **Rodamientos Lineales LM8UU** (Figura 46) Usaremos la presión de los tornillos para fijar las dos barras, y ya dejaremos insertados los rodamientos para no tener que desmontar y colocarlos después.



Figura 46. Estructura sobre la que irá el carrito.

La colocación de los rodamientos sobre los que irá la correa se realizará como puede observarse en la figura 47 en el siguiente orden empezando desde abajo.:

- Arandela 18
- Arandela M4 DIN 9021

- Rodamiento
- Arandela M4 DIN 125
- Arandela 18
- Tornillo Din 912 M4x20

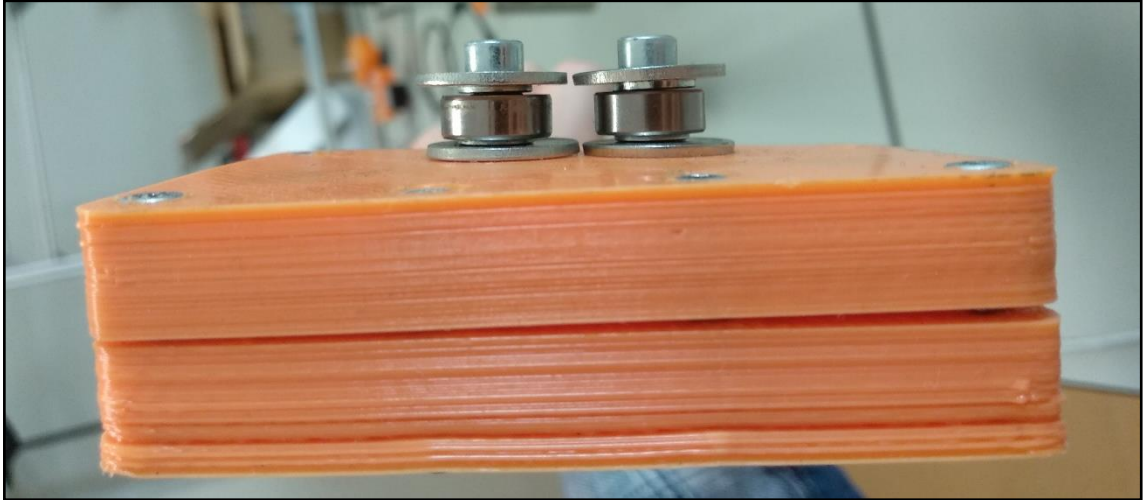


Figura 47. Vista Rodamientos

Para mayor succión en la parte de abajo se ha colocado una tuerca para sujetar cada tornillo.

Una vez tengamos todo montado como en la figura qqq procederemos a unirlo a las piezas anteriores con una barra de 600 mm.

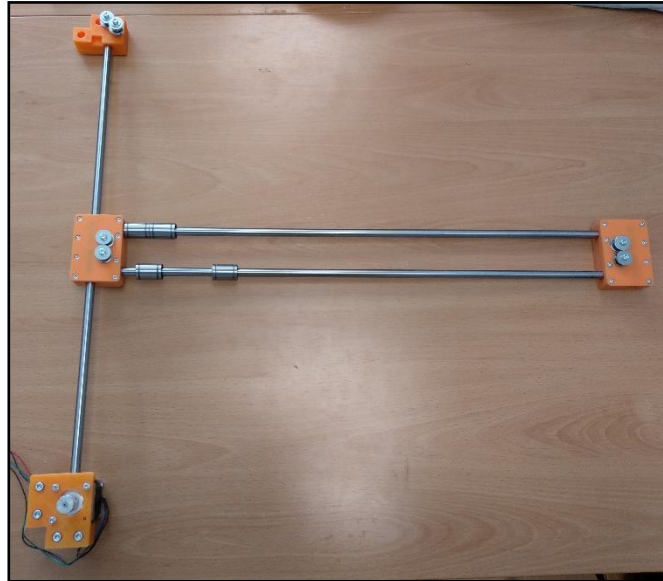


Figura 48. Parte central del carrito unido mediante barra a motores.

Y del mismo modo colocamos la otra barra y lo montamos sobre la estructura.

Para montar el carrito vamos a necesitar:

- Piezas impresas:
 - 1 x Carrito Parte superior
 - 1 x Carrito Parte inferior
 - 4 x Abrazadera de correa
 - 1 x Sujeción de los extrusores
- 8 x Tornillos Din 912 8x20
- 8 x Arandelas Din 9021
- 4 x Rodamientos **Lineales LM8UU**
- 8 x Tornillos M3 x 30 mm
- 2 x Tornillos M3 x 40 mm
- **Extrusores**

Las piezas impresas Carrito Parte superior y Carrito Parte inferior se colocan sobre los cuatro rodamientos y usamos los tornillos M3 x 30 mm para sujetarlas a las barras. Además, podemos colocar los dos extrusores usando dos tornillos y las piezas de impresión “Sujeción de los extrusores”.

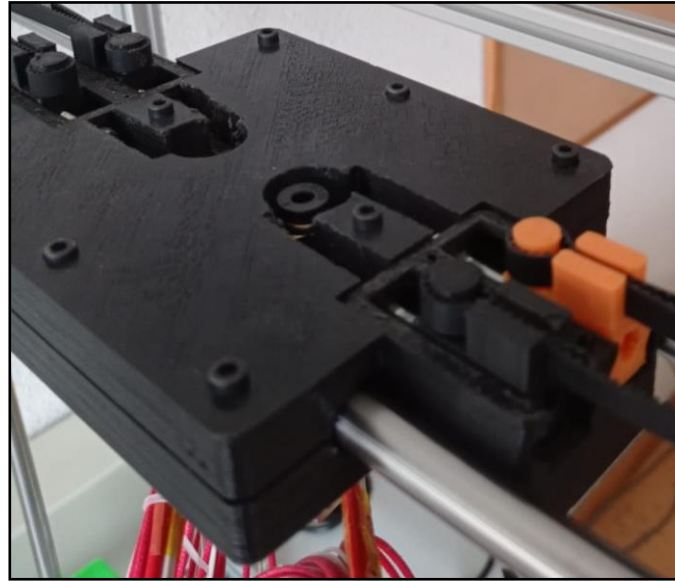


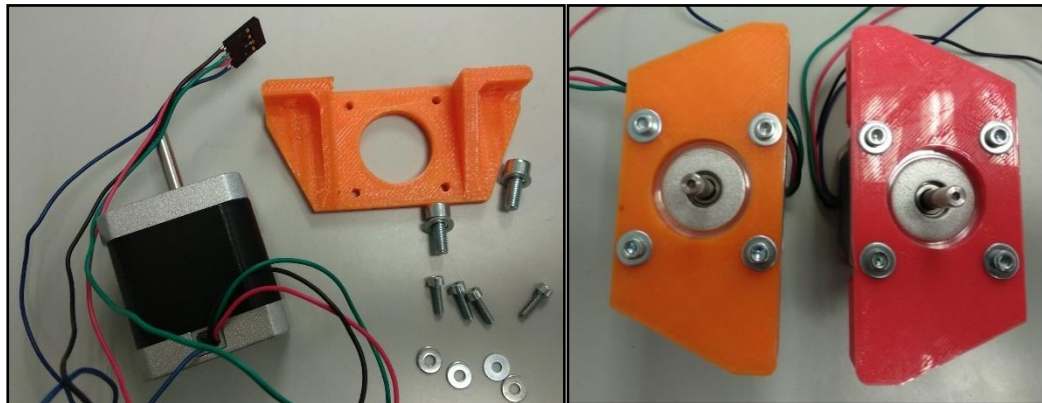
Figura 49. Montaje del carrito

La correa GT2 debe ir colocada tal como se indica en el sistema Core XY siendo fijada al carrito gracias a las piezas impresas “Abrazadera de correa”. Esta abrazadera usa la parte superior para sujetar la correa, la parte inferior para tensar la correa. La parte inferior de la abrazadera está diseñada para sujetar una tuerca que sirva de apoyo al tornillo que tense la correa.

5.4. PASO 4 - COLOCACIÓN EJE Z

Para este siguiente paso en el que vamos a colocar los motores del eje Z, que serán los que muevan nuestra plataforma de impresión, vamos a necesitar los siguientes materiales:

- 4 x Tornillos Din 912 5x12
- 4 x Arandelas Din 125 5 mm
- 8 x Tornillos Din 912 8x10
- 8 x Arandelas 125 3 mm
- Piezas impresas **“Sujección motores eje Z”**



a)

b)

Figura 50. A) Piezas sin montar b) Los motores listos para colocar en la estructura

Los cuatro tornillos de 5x12 serán los que sujeten al motor a la pieza impresa, después usaremos tornillos de mayor grosor para unirlos a la estructura.

Si seguimos tomando como referencia la parte más ancha del rectángulo de nuestra estructura y el lado donde están colocados los motores X e Y, 2 estas piezas irán colocadas a los laterales a una distancia de 25,5 cm desde la esquina.

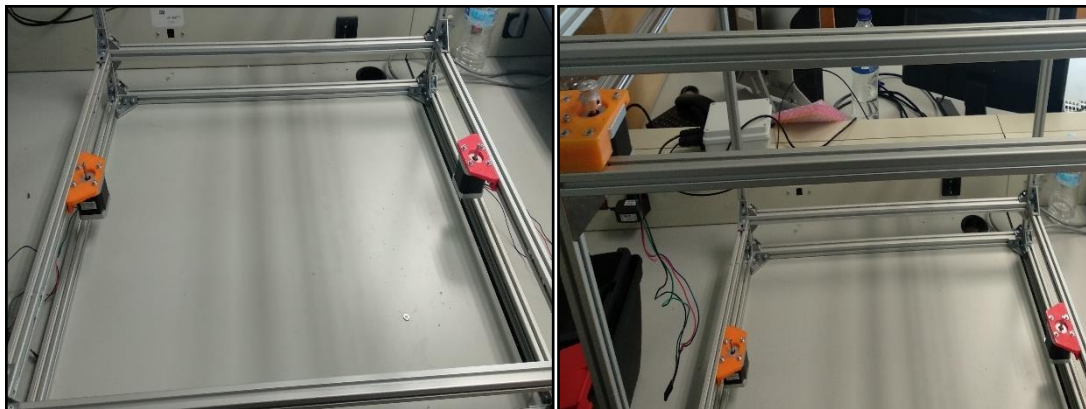


Figura 51. Colocación de los motores del Eje Z en la estructura

5.5. PASO 5 - CORREDERAS DE LA PLATAFORMA DE IMPRESIÓN

En este paso vamos a colocar las 4 barras por las que, gracias a los rodamientos, se moverá nuestra plataforma de impresión. Para ello los materiales que vamos a necesitar son los siguientes:

- 4 x Barra 55 mm
- 8x Rodamientos Lineales LM8UU
- 8x Sujetadores
- 12 x Tornillos Din 912 5x12



Figura 52. Barras con rodamientos

La colocación se hará en los laterales de nuestro lado de referencia a una distancia de 20 cm desde la esquina de la impresora.

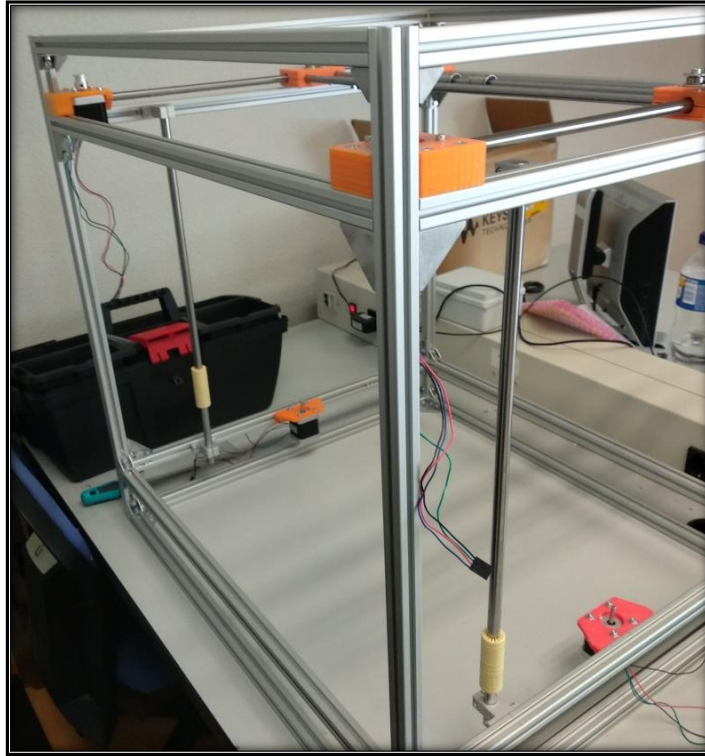


Figura 53. Colocación de Barras correderas

Gracias a los tornillos de los sujetadores podemos ajustar a qué altura se sujetará la barra. En este paso debemos prestar atención a que las barras no sobresalgan de la parte superior, porque de otra forma interferirían con el movimiento del carrito superior (Figura 54). Así, en caso de que la barra fuera mayor que la distancia que queremos cubrir, debemos hacer que sobresalgan por la parte inferior.



Figura 54. Colocación de la barra para no interferir con la barra superior.

5.6. PASO 6 - SUJECIONES PLATAFORMA Y PLATAFORMA

En este paso montaremos en las barras del paso anterior las piezas impresas que sujetarán la plataforma de impresión, de forma que pueda desplazarse en el eje Z.

Para esta parte vamos a necesitar:

- 8 x Pieza impresa **“Sujeciones cama”**
- 16 Tornillos **Din 912 M3 x 30**
- 16 Tuercas **M3**



Figura 55. Materiales a utilizar

La colocación es muy sencilla: solo debemos cerrar las dos piezas cubriendo los rodamientos y procurar que, en caso de utilizar tornillos de mayor longitud, la parte sobrante quede hacia el exterior para no interferir en la estructura (Figura 29)qqq.

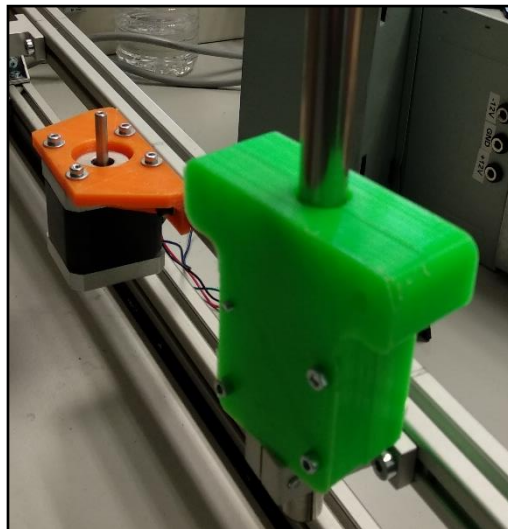


Figura 56. Colocación en la estructura.

Para el montaje de la plataforma vamos a necesitar:

- 2 Perfiles de 51 cm
- 2 Perfiles de 39 cm
- 4 Escuadras pequeñas

- 8 Tornillos **Din 912 M3 x 40**
- 8 Arandelas **M3**

Debemos tener en cuenta que los lados en los que irá unida la plataforma a la estructura deben medir 51 cm. Debemos colocar los agarres a una distancia de 5 cm desde la esquina de 51, y usando los tornillos unirlos a las piezas impresas. (Figura 30).

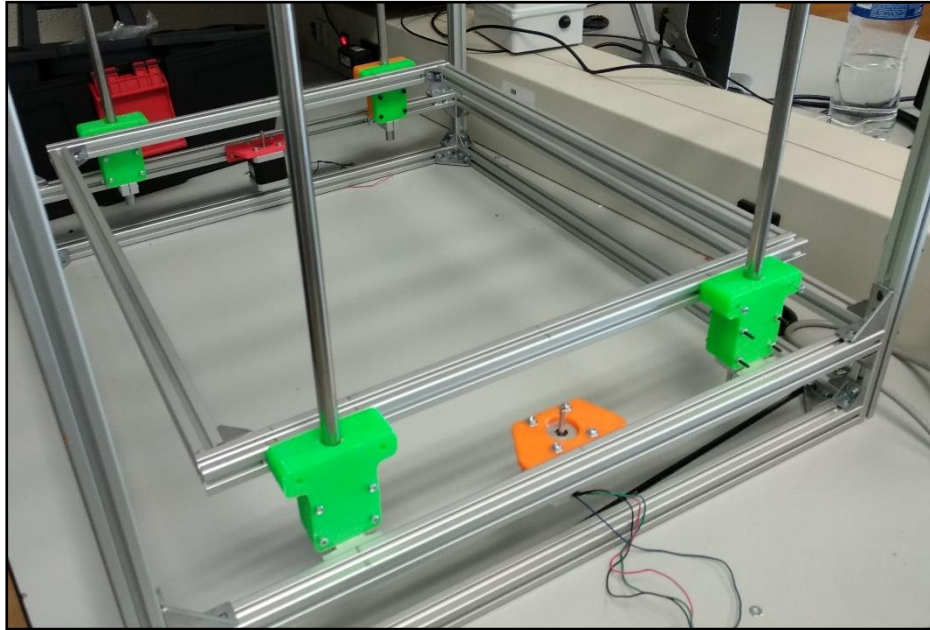


Figura 57. Colocación de la plataforma de impresión

5.7. PASO 8 – PLATAFORMA PARA LA ELECTRÓNICA

Para poder colocar toda la parte electrónica, se ha colocado una barra transversal de 590 mm en el cuadrado inferior de la estructura, y sobre esta se ha puesto un tablón de madera.

Haciendo diferentes agujeros y usando tornillos M4 fijamos la plataforma a las barras. Una vez la plataforma está sujeta, se han colocado 3 escuadras grandes para sujetar la fuente de alimentación.

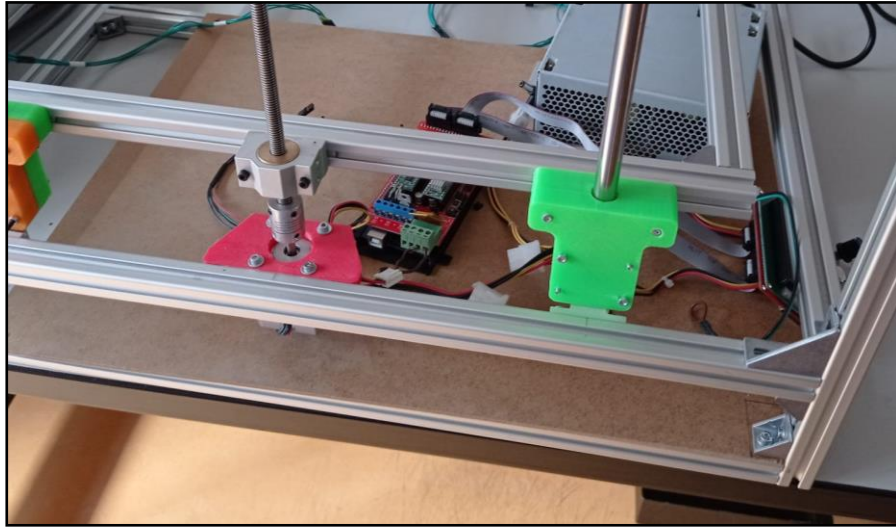


Figura 58. Plataforma para la electrónica

Como los cables de los motores son muy cortos, deberemos hacer extensiones que lleguen a nuestra placa Arduino.

Una vez todos los elementos electrónicos lleguen a nuestra placa Arduino Mega, podemos encender la impresora y proporcionando filamento a los extrusores poder imprimir.

Apéndice B. SISTEMA CORE XY

Sistema Core XY

El sistema de movimiento CoreXY es un sistema de movimiento que permite mover una plataforma en los ejes X e Y pero manteniendo los motores en la estructura fija. Esta opción es adecuada para máquinas CNC e impresoras 3D, como es nuestro caso.

Las principales ventajas de esta tecnología son su sencillez, su velocidad, y su adaptabilidad.

La velocidad la conseguimos al tener los motores fijos en la estructura; la sencillez recae en que sólo disponemos de 3 piezas principales que forman el sistema cerrado, siendo la bancada, la plataforma en la cual se desplaza el carro y el carro. Finalmente, la adaptabilidad se debe a que no existen demasiadas limitaciones en cuanto al material que podemos utilizar para la estructura (únicamente tenemos que tener en cuenta el peso); la mayoría suelen ser de aluminio o algún tipo de plástico metacrilato.

Una vez visto sus ventajas procederemos a explicar su funcionamiento.

El principio de funcionamiento es el siguiente:

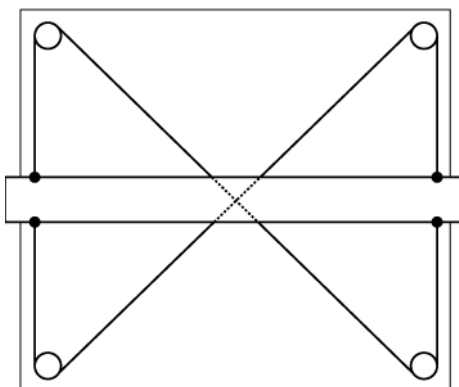


Figura 59. Core XY base estándar

Esta es una tabla estándar, en la que se puede apreciar que la barra horizontal es una regla que el usuario puede mover hacia arriba o hacia abajo. El patrón entrecruzado de los cables estabiliza la barra y la mantiene en posición horizontal:

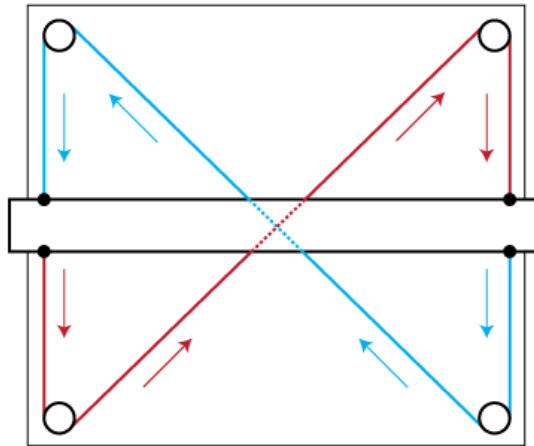


Figura 60. Corexy: Movimiento de los cables

Este efecto se puede apreciar si se sigue la dirección del movimiento de los dos cables que componen el mecanismo. Nótese que todas las flechas verticales se mueven en la misma dirección.

Podríamos incluir un motor paso a paso en una de las poleas, ahora que la barra horizontal se puede mover hacia arriba y hacia abajo usando un control por ordenador. Este método se conoce como "single-axis CNC stage" (movimiento por un solo eje).

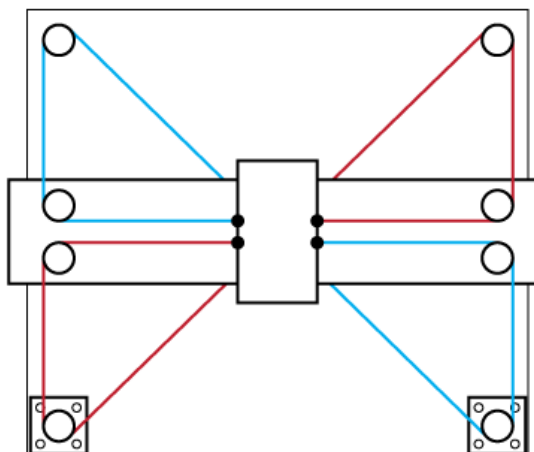


Figura 61. Corexy para movimiento con dos ejes

Para poder usar este método con dos ejes debemos modificarlo como se ve en la figura, de forma que rotando los dos motores en la misma dirección resulta en un movimiento en horizontal, y si rotaran en direcciones opuestas tendríamos un movimiento en vertical.

Un pequeño problema que tenemos en el modelo anterior es que las correas están cruzándose justo en el medio de nuestra zona de trabajo. Este nuevo mecanismo es funcionalmente idéntico al último, a excepción de que hemos añadido dos poleas adicionales para desplazar las correas fuera del área de trabajo.

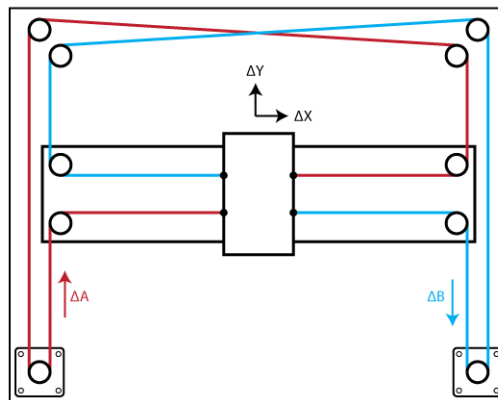


Figura 62. Mecanismo mejorado

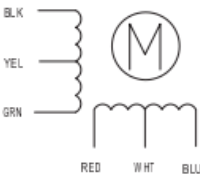
Apéndice C. DATASHEET 17

HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

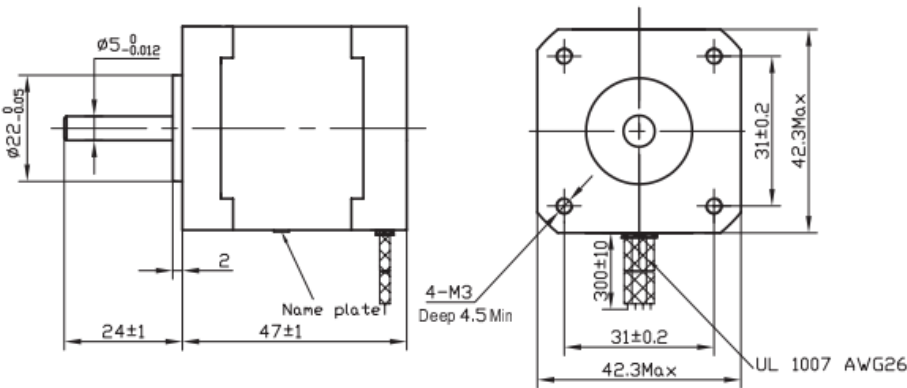
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	4
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	1.2
Ambient temperature (°C)	-20~+50	Resistance Per Phase ($\pm 0\%$)	3.3 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ($\pm 20\%$ mH)	2.8
Insulation Resistance	100M Ω , Min (500VDC)	Holding Torque (Kg.cm)	3.17
Insulation Class	Class B	Detent Torque (g.cm)	200
Max.radial force (N)	28 (20mm from the flange)	Rotor Inertia (g.cm ²)	68
Max.axial force (N)	10	Weight (Kg)	0.365

● Pull out torque curve:
VOLTAGE: 24VDC, CONSTANT CURRENT: 1.2A, HALF STEP

● Wiring Diagram:



● Dimensions:
(unit=mm)



△					SY42STH47-1206A	TECHNICAL CONDITIONS
△						
REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE		
DRAW	ZZZ	2010.06.29			CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS NEW TECHNIC INSTITUTE	060047000
CHECK						
APPROVE						