



## **FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL A CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**

Christopher Jair Carrasco Jiménez  
César Arturo Niño Carmona  
Manuel Jesús Sánchez Chero  
Cecilia Lizeth Risco Ipanaqué  
Franklin Guerrero Campos  
Percy Javier Celis Bravo





**FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL  
A CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**

Christopher Jair Carrasco Jiménez  
César Arturo Niño Carmona  
Manuel Jesús Sánchez Chero  
Cecilia Lizeth Risco Ipanaqué  
Franklin Guerrero Campos  
Percy Javier Celis Bravo

FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL  
A CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

ISBN: 978-9942-603-54-8

Savez editorial

**Título:**

FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL  
A CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

Primera Edición: 2022

**ISBN: 978-9942-603-54-8**

Obra revisada previamente por la modalidad doble par ciego, en caso de requerir información sobre el proceso comunicarse al correo electrónico [editor@savezeditorial.com](mailto:editor@savezeditorial.com)

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros), sin la previa autorización por escrito del titular de los derechos de autor, bajo las sanciones establecidas por la ley. El contenido de esta publicación puede ser reproducido citando la fuente.

El trabajo publicado expresa exclusivamente la opinión de los autores, de manera que no compromete el pensamiento ni la responsabilidad del Savez editorial

## CONTENIDO

<b>I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>6</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
Máquinas CNC.....	9
Impresión 3D.....	10
Estructura mecánica .....	14
Sistema electrotécnico.....	18
Sistema de control.....	25
Impresora D-BOT Core XY .....	27
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>MODELADO DE ESTRUCTURA MECÁNICA .....</b>	<b>29</b>
<b>SISTEMA ELECTROTÉCNICO .....</b>	<b>53</b>
<b>SISTEMA DE CONTROL.....</b>	<b>68</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>

## INTRODUCCIÓN

Las máquinas de control numérico computarizado (máquinas CNC) en los últimos años cada vez tienen mayor influencia en distintas ramas de estudio, convirtiéndose en una de las herramientas más influyentes de distintos campos.

Las universidades buscan desarrollar proyectos en las distintas ramas de estudio de la ingeniería, siendo una de esas las ramas el maquinado por medio de máquinas CNC. GINDET requiere de impresoras 3D para realizar prototipos o piezas mecánicas de sus proyectos, también requiere el uso de fresadoras para el desarrollo de placas de circuito, de igual forma requiere del maquinado láser para aplicaciones ya sea de corte o grabado de acuerdo a lo que el proyecto lo requiera, los principales problemas que enfrentan son la poca accesibilidad a máquinas CNC y los costos elevados que implican hacer estos procesos fuera de la universidad.

Para dar solución a lo antes expuesto se ejecutó la siguiente investigación realizando en el capítulo I un estudio de la realidad problemática y la importancia de la misma estableciendo los objetivos y delimitando la investigación para poder cumplir con lo requerido, luego en el capítulo II se procede a realizar investigación y recopilación de teoría necesaria para poder ser desarrollada buscando antecedentes de otras investigaciones y haciendo uso de teoría ya existente en el rubro de las máquinas CNC, en el capítulo III se establece el enfoque, diseño, técnicas e instrumentos y aspectos éticos de la misma.

Finalmente en el capítulo IV para lograr el desarrollo de la máquina se inicia con el modelado de la estructura a usar en esta investigación se tendrá en cuenta una estructura basada en estructuras de impresoras 3D del tipo CoreXY, luego de modelar la estructura, se procede a modelar el mecanismo de cambio de cabezales, después se procede al diseño del sistema electrotécnico que cumpla con los requerimientos para realizar las tareas necesarias, también se adapta el firmware de control basado en Marlin, finalmente se procede a realizar la calibración y pruebas del sistema de control en conjunto con los software de generación de código G que se requieren.

## **I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA**

En los últimos años las máquinas de control numérico computarizado (CNC) han ganado mucho protagonismo en la industria, desde que el Instituto Tecnológico de Massachusetts creó la primera máquina CNC en 1952, rápidamente el uso de estas empezó a reemplazar la mano de obra humana debido a que se incrementaba la productividad hasta en un 90% (Cándido, 2013).

Posteriormente con la globalización del Control Numérico Computarizado y con la finalidad de hacer uso de las máquinas CNC en diferentes tareas, en el año 1965 se implementó la primera máquina CNC de corte por láser y años más tarde en 1984 se patenta la primera impresora 3D.

Con la globalización de las máquinas CNC, su uso en las universidades e institutos tecnológicos para el desarrollo de proyectos se han incrementado de forma considerable. En muchas universidades se tiene como finalidad desarrollar proyectos innovadores que buscan tener un impacto fuerte en la región, por lo cual requieren del uso de máquinas a control numérico computarizado para poder desarrollar los proyectos de maquinado sin contratiempos y abaratar los costos que estos proyectos implican.

Por esta razón se busca diseñar una máquina multifuncional a control numérico computarizado que sirva de base para cumplir con el propósito de brindar servicio especializado de maquinado, reduciendo el espacio que podrían ocupar las tres máquinas por separado y agilizando el desarrollo de proyectos teniendo la disponibilidad inmediata de la máquina en cualquiera de sus tres funciones.

Uno de los problemas más frecuentes que enfrentan las universidades al momento de desarrollar sus proyectos es la poca disponibilidad y accesibilidad a máquinas CNC, ya que muchas aún no cuentan con un laboratorio especializado en máquinas CNC y los gastos que implican hacerlo fuera son elevados limitando el desarrollo de los proyectos. Se requiere del uso de impresoras 3D para la fabricación de piezas personalizadas en sus proyectos, también requiere el uso de Mini Fresadora para la fabricación de placas electrónicas ya que los métodos tradicionales usando ácido férrico ponen en riesgo la salud

de los alumnos y generan gases que son muy tóxicos al ser inhalados; los gases que produce la reacción química entre el ácido férrico y el cobre son dañino para el medio ambiente. Por último, otro de los problemas que se identificó fue la necesidad de hacer uso del corte láser para las estructuras de algunos prototipos o incluso realizar grabado láser para poder desarrollar PCB (Print Circuit Board) de mayor precisión.

El diseño que se propone debe cumplir con los requerimientos planteados por la cual la máquina multifuncional tendrá tres efectores finales intercambiables que tendrán un extrusor para la impresión 3D, una mini fresadora y un láser para grabado y corte, también se debe diseñar un sistema de control adecuado para el uso de los cabezales y por último el diseño estructural que soporte el peso de los cabezales y que resista las condiciones de trabajo.

Si se logra agilizar los procesos en el desarrollo de proyectos, los impactos a nivel de universidad y región serán más grandes, permitiendo el desarrollo de estas. A demás se requiere de miembros con habilidad para el desarrollo tecnológico, incentivando a estudiantes y personas del entorno a querer aprender para ampliar sus conocimientos y poder usarlos para el beneficio de todos.

## **II. MARCO TEÓRICO**

Madrid (2021) realizó el trabajo de investigación docente “Diseñar e implementar una impresora 3D con configuración delta para el laboratorio de Mecatrónica de la UNP – PERÚ – 2019”, teniendo como objetivos el diseño de la estructura mecánica que permita realizar movimientos en los ejes X, Y e Z, en la impresión 3D con configuración delta, selección de las tarjetas electrónicas para el control del movimiento de los motores de acuerdo a órdenes recibidas del computador, el establecimiento de los parámetros de firmware y la calibración de las posiciones y valores de impresión 3D con configuración delta. Logrando diseñar y ensamblar una estructura de 1 metro de altura interna, con una altura de impresión de 41.4 cm, una altura efectiva de 35.08 cm y un radio de impresión de 13 cm., además se configuró en Marlin una impresora Delta con finales de carrera invertido y límite máximo, la nivelación de cama caliente se realiza por el método de los tres puntos y por último, se calibró las impresiones a una temperatura de 190 °C con velocidad de

impresión de 30 mm/s, velocidad de impresión de bordes de 33 mm/s, de relleno a 37 mm/s y con una velocidad de retracción de 40 mm/s a 4 mm de distancia de retroceso; las capas son de 0.43 mm para una boquilla de 0.5 mm de diámetro de orificio.

Pérez (2015) realizó la investigación “Diseño de una cortadora laser CNC de CO<sup>2</sup> para acrílicos y madera”, siendo el objetivo principal “diseñar una cortadora láser CNC de bajo costo, de tal manera que sea asequible para los potenciales usuarios” en esta investigación el autor propone su diseño haciendo una cuidadosa selección de los materiales a usar, empezando por la potencia necesaria que requiere el láser para realizar las tareas requeridas, después los cálculos de esfuerzos necesarios para hacer una correcta selección de las guías lineales y tornillos de transmisión, finalmente la selección de la electrónica suficiente para poder controlar la máquina.

Riquelme (2010) realizó la investigación “Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas”, la cual tiene como objetivo “implementar una máquina de control numérico computarizado (CNC), analizando la parte mecánica, electrónica y de control para poder realizar un máquina que pueda mecanizar piezas de PCB a una gran escala” para lo cual se requiere sistemas de bajo coste y se pretende “el uso de software libre, para abaratar costos de fabricación” haciendo también uso de la placa controladora Arduino con el fin de “tener una máquina con un lenguaje entendible y sencillo de interpretar” para poder hacer un mantenimiento adecuado de la misma e “incrementar su uso para el desarrollo de placas PCB”.

Airaldi et al. (2015) realizaron la investigación “Plataforma de posicionamiento modular para impresión 3D, fresado y otras aplicaciones”, teniendo como objetivo “el diseñar una plataforma posicionadora de coordenadas cartesianas que pueda cumplir las funciones de impresión 3D y fresado” realizando una serie de selección de componentes para la parte mecánica, actuadores y arquitectura de software para poder poner el prototipo a prueba, “se realizaron algunas simulaciones de impresiones donde se validó que la geometría resultante de la máquina correspondía con la geometría propuesta” dejando a la plataforma lista para poder hacer las simulaciones para fresado o alguna aplicación diferente en futuro. Realiza un cuadro comparativo de ventajas y desventajas para el uso del husillo de potencia para en movimiento lineal en general.

Morales (2017) realizó la investigación "Desarrollo de un controlador básico de impresión 3D", teniendo como objetivo "implementación de un controlador de impresión 3D intentado que este sea muy sencillo y fácil de comprender" teniendo en cuenta que los firmware de control existentes son bastantes difíciles de entender por la complejidad de su programación, "Este controlador principalmente constará de un intérprete de G-Code y de las funciones necesarias para realizar movimientos lineales y llevar un control de temperatura sencillo pero eficaz" siendo el control de estas funciones lo básico y necesario para el control de una impresora 3D, dando una mayor flexibilidad a los usuarios que requieran iniciar en la rama de las máquinas CNC teniendo una guía sencilla de poder realizar interpretación de código G y realizar sus propios software de control.

Padilla (2017) realizó la investigación "Diseño de una cortadora láser para papel con interfaz gráfica", teniendo como objetivo "diseñar una cortadora láser para corte en papel, madera o cartón usando interfaz gráfica" la investigación está orientada al diseño de la máquina haciendo la respectiva selección de materiales y haciendo una detallada explicación del uso de software libres existentes para la generación del código G que interpretan las máquinas, "busca la reducción de costos del proceso y reducir el tiempo de entrega de los cortes mandados a hacer en la ciudad de Quito – Ecuador" al poder contar con una máquina cortadora láser en la misma localidad los procesos para lo cual se requiere el corte pueden agilizarse, reducir los costos de envío y el gasto en por mano de obra.

## **Máquinas CNC**

Según datos históricos los inicios de las máquinas de control numérico computarizado datan del año 1942 con la evolución de los circuitos integrados y microprocesadores, las necesidades de la industria aeronáutica llevaron a las fuerzas armadas de los estados unidos de la mano con el Instituto de Tecnología de Massachusetts al desarrollo de lo que se conoce como la primera máquina de control numérico computarizado, hacia el año 1960 las máquinas de control numérico computarizado empezaron a hacerse comerciales y con el desarrollo de las computadoras digitales su uso empezó a masificarse (Mipesa, 2021).

Las máquinas de control numérico computarizado fueron desarrolladas con el afán de reducir la intervención de mano de obra humana en los procesos de maquinado para así

poder tener procesos más rápidos y exactos, las principales máquinas de control numérico computarizado fueron el torno y la fresadora, siendo esta última la que más variaciones respecto a aplicaciones ha tenido, ya que conforme la tecnología ha ido avanzando esta puede hacer desde frezados y solo con intercambiar el cabezal se puede usar corte por láser, corte por hilo eléctrico y muchas aplicaciones que se le den, se debe señalar que la configuración más común en fresadoras es la configuración cartesiana la cual permite mayor flexibilidad en aplicaciones que requiere la industria (Cándido, 2013).

#### ▪ **Máquina CNC de grabado y corte láser**

Es una variante de una máquina CNC del tipo interpolador, funcionando como una fresadora de tres o dos ejes, según se proponga, lo que lo diferencia de una fresadora es que a herramienta es sustituida por un láser de potencia, de forma comercial para lo que es grabado se usa un láser de 5 W de potencia esta misma máquina podría usarse como máquina de corte láser si se cambia el láser de 5 W por un láser de mucho más potencia de 15 W si se requiere corte de madera de poco espesor y hasta de 70 W en el caso se requiera del corte de metal, en esta investigación se propone usar un láser 5w orientado al grabado (Sculpteo, 2021).

Los tipos de máquinas CNC láser están ligadas a los tipos de máquinas CNC aunque comercialmente el tipo de máquina láser usada es configuración cartesiana, es decir movimiento de la herramienta en los tres ejes.

### **Impresión 3D**

Los inicios de la impresión 3D se remonta al año 1976 con el invento de la impresión por inyección de tinta, años más tarde con los estudios preliminares de la impresión se hicieron variantes y adaptaciones que dieron inicio a la impresión con materiales, en el año 1983 cuando Chuck Hull un inventor destacado en el campo de la óptica iónica creó el primer método de impresión 3D “la estereolitografía” fundando en 1986 3D SYSTEMS la primera empresa en comercializar máquinas de impresión estereográfica (3D Systems, 2021).

Entre los años 1988 – 1990 surgen dos nuevos métodos de impresión, impresión FDM, “impresión por deposición de material fundido” y la impresión SLS, “impresión de sinterización selectiva por láser”, en el año 1990 el creador de la impresión FDM Scott Crump funda la empresa STRATASYS” siendo esta la empresa líder hoy en día puesto que el método de impresión FDM es el más usado y económico; en el 2005 el Dr. Adrian Bowyer funda RepRap en la Universidad de Bath, en el año 2008 se implementa la primera impresora 3D RepRap que aportaban hasta en un 70% en la creación de nuevas máquinas dando inicio a un crecimiento exponencial de las mismas, en el año 2014 se vendieron 108 000 impresoras; las estimaciones en ventas para el año 2020 son de 2.3 millones de dólares según Leon3D por encuestas realizadas en el año 2014 (Stratasys, 2021).

### ▪ **Tipos de impresora 3D**

En función de las tecnologías de impresión que emplean:

- Impresión 3D por estereolitografía (SLA)
- Impresión 3D de sinterización selectiva por láser (SLS)
- Impresión 3D por inyección
- Impresión 3D por deposición de material fundido:

### ▪ **Impresión 3D por deposición de material fundido (FDM).**

Este es el método tradicional o el método más usado en la construcción de impresoras 3D caseras. El método consiste en fundir filamento de polímeros y depositarlo capa por capa. El material se encuentra en estado sólido luego de ser fundido este sale a través de una boquilla creando hilos de material muy finos los cuales se van solidificando conforme se van formando las capas (Stratasys, 2021).

A diferencia de los métodos SLS o SLA las impresiones se ven un poco limitadas por el hecho de que hay ciertas formas que no se pueden realizar por este método, lo cual no quita que las impresiones que se obtengan sean de muy buena calidad.

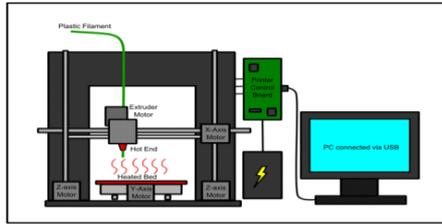


Figura 1. Esquema representativo de la impresión 3D

Fuente: wearables e impresoras 3D (2021)

▪ **Tipos de configuración.**

Para este punto se tomará en cuenta las configuraciones existentes para el tipo de impresión FDM que es con lo que se va a trabajar en este proyecto y definiendo que configuración se usará.

- Impresión 3D configuración de Brazo Robótico
- Impresión 3D configuración polar
- Impresión 3D configuración delta
- Impresión 3D configuración cartesiana

▪ **Impresión 3D configuración cartesiana.**

Esta configuración es la más usada en la actualidad en impresoras 3D, su configuración se basa en el sistema cartesiano es decir una ubicación de puntos en los ejes X, Y y Z (3D Natives, 2021).

La característica de esta configuración es que tiene una cama móvil que puede moverse en solo un eje ya sea el X, Y o Z, según como se diseñe la impresora.

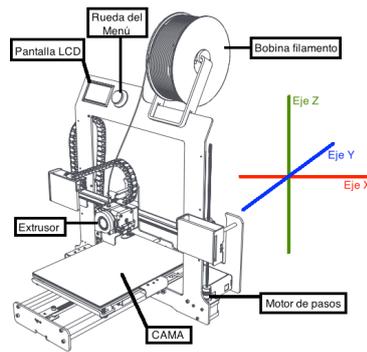


Figura 2. Impresión 3D cartesiana

Fuente: sysadmins (2021)

### Máquinas multifuncionales

Antes de hablar de máquinas multifuncionales se debe aclarar la diferencia entre una máquina multitarea y una máquina multifunción.

Una máquina multifuncional es aquella que puede realizar varias tareas, pero no más de una al mismo tiempo y una máquina multitarea es aquella que si permite hacer más de una tarea a la vez, definido esto podemos decir que una máquina multitarea puede hacer el papel de una máquina multifuncional pero una máquina multifuncional no puede hacer el papel de una máquina multitarea.

Las máquinas multifunción tienen como principal objetivo hacer uso de un mismo hardware o parte de un hardware para que la máquina tenga la capacidad de realizar varias funciones, viéndolo desde otro punto de vista se busca reducir el espacio en el uso de las máquinas además de reducir los costos de adquisición de una máquina por cada tarea, resulta mejor tener una máquina en un mismo lugar que se pueda realizar varias tareas a un menor costo que tener una máquina por cada tarea requerida, ocupando más espacio y un costo mucho más alto.

La propuesta en el desarrollo de esta máquina multifuncional es aprovechar la parte mecánica ya que se usará una configuración cartesiana que es la más común y permite que cada una de las funciones propuestas se desarrollen sin problemas, la fresadora y la grabadora laser comparten el mismo tipo de configuración en la clasificación de las máquinas CNC y en su sistema de control lo cual facilita la integración de las mismas, la

impresora 3D también tiene una configuración cartesiana no comparte de forma directa el sistema control pero si comparten la mecánica lo cual nos permitiría encontrar una forma de integrarla con la fresadora y la máquina de grabado láser ya que el sistema de control de la impresora 3d es mucho más robusto.

Al desarrollar esta máquina se busca ahorrar espacio y reducir los gastos en la estructura mecánica que es la más costosa en el desarrollo de estas máquinas, resaltando que la máquina solo podrá realizar solo una función a la vez, cumpliendo así con el concepto de máquina multifuncional.

### **Estructura mecánica**

- **Estructura cartesiana con perfil de aluminio Vslot tipo arco**

Este tipo de estructura se caracteriza por usar en un 80% perfiles de aluminio, hace uso de un solo tornillo de potencia el cual solo se usa como una guía, tal y como se muestra en la figura 3.

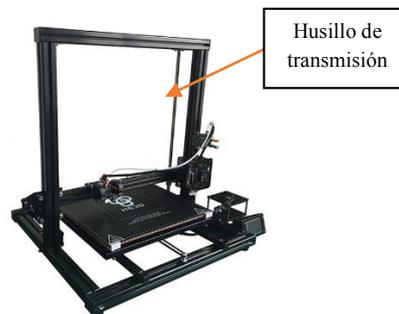


Figura 3. Estructura con perfil Vslot (impresora HE3D-H500)

Fuente: Gizlogic (2021)

El uso de correas se da en todas las estructuras, en esta estructura las correas van entretejidas en la pieza guía entre la polea del motor y los rodamientos que van en las guías del perfil vsolt en el eje X (figura 5) y en el eje Y la correa solo se une debajo de la cama caliente y va acoplada entre dos poleas, la polea del motor y una polea loca (Figura 4).



Figura 4. Vista de eje Y de impresora 3D

Fuente: Prometec (2021)



Figura 5. Vista de eje X impresora 3D

Fuente: MercadoLibre (2021)

La ventaja de usar perfiles de aluminio como guías en el eje z y x es un movimiento más limpio y sin interferencias, la rigidez de la estructura también es una de las características a favor de este tipo de estructura, sin embargo, el hecho de usar un solo motor para el eje z genera sobrecalentamiento.

#### ▪ **Estructura cartesiana con tornillos de potencia tipo arco**

Este modelo busca evitar los costos elevados en perfiles de aluminio usando otros materiales para la estructura ya sea, acrílico, madera balsa o mdf. Y para realizar los movimientos usan tornillos de potencia para el eje Z y el eje X y Y tienen el mismo mecanismo que el eje Y del modelo anterior mencionado haciendo uso de guías lineales en cada uno de los ejes

Los modelos comerciales que usan este tipo de estructuras son: anycubic, prusa i3, anet 8 y flsun. En la figura 6 se muestran las partes de los mecanismos usados para los movimientos en los distintos ejes.

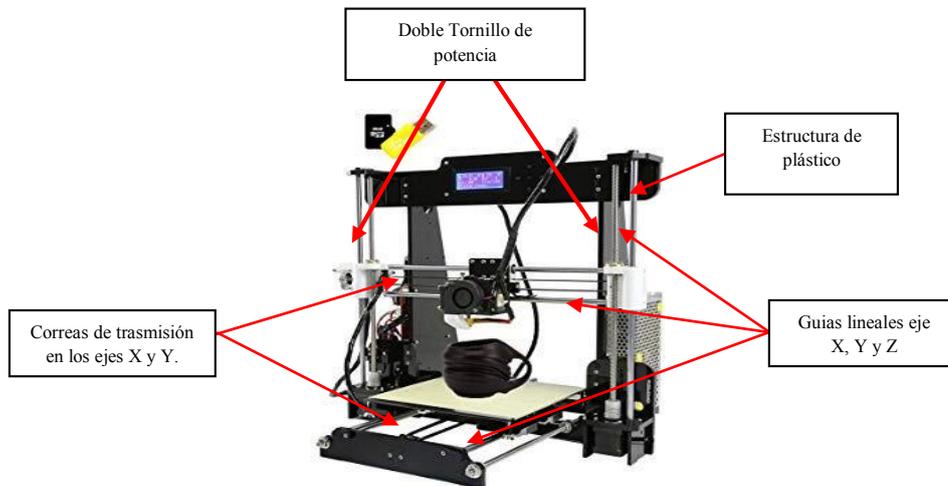


Figura 6. Impresora con doble husillo de transmisión

Fuente: Amazon (2021)

Las ventajas de este modelo es la reducción de costos ya que usar materiales como mdf, acrílico o madera balsa, es más barato que usar una estructura de aluminio, también se gana rapidez en los ejes X y Y por el uso de correas.

Las desventajas que presentan este tipo de estructuras es que su montaje puede ser muy difícil debió a que mayormente todos los cortes del material se hacen mano, requiere de un control más preciso por el uso de dos tornillos de potencia, en muchos casos a veces las estructuras no resultan tan rígidas y requieren ser reforzadas, todo en caso la impresora sea armada hecha de forma casera, la mostrada en la figura 6 es hecha industrialmente y sus piezas son más precisas pero aun así su ensamble requiere de más tiempo y cierta precisión (Capa sobre capa, 2021).

- **Estructura cartesiana con perfil de aluminio Vslot y Tornillos de potencia tipo cubica.**

Una de las desventajas del modelo anterior mencionado es que comparadas con otros modelos son muy lentas, debido a la forma de su estructura y las diferencias entre ambas, debido a estos problemas presentados con las estructuras anteriores, se busca resolverlo planteando una estructura cubica con uso de transmisión por tornillo de potencia para el eje Z

y correas para el eje X y Y, la diferencia más grande respecto a las otras estructuras es que el eje Z ya no lleva consigo al eje X, el eje Y trabaja totalmente independiente, el eje Y es el que lleva al Eje X tal y como se muestra en la figura 7.

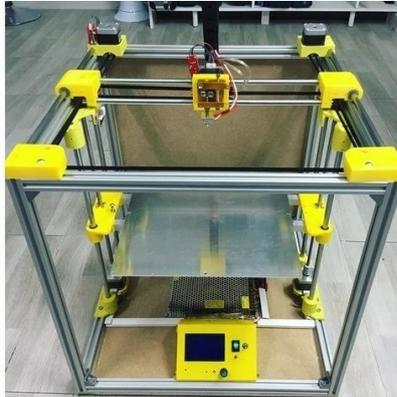


Figura 7. Estructura de impresora cubica

Fuente: Mercado Libre (2021)

Existen muchas variantes del modelo de estructura cubica, pero solo se hará enfoque en el modelo y tipo que requiere la investigación, el modelo que se requiere para esta investigación para eliminar los problemas que muestran las estructuras anteriores, queriendo mantener la precisión y subir la velocidad de trabajo a nivel de impresión 3D, se utilizara la estructura cubica en configuración XY.

Otra de las razones por la cual se elige este tipo de estructura es porque se adapta de la mejor manera para poder soportar los diferentes cabezales a usar y poder cumplir con lo propuesto, aunque se eleven de alguna forma los costos por usar perfiles de aluminio el investigador la seleccionó, se debe tomar en cuenta que al tener funciones de 3 máquinas distintas en una sola, el costo aún sigue siendo reducido a pesar de seleccionar la estructura más costosa.

A continuación, se explica el funcionamiento de la configuración XY y por qué se prefiere usar en vez de la configuración normal, en la figura 8 se muestra la forma de cómo se disponen las correas, se usan dos correas diferentes unidas en el soporte del cabezal, estas dos correas se mueven por accionamiento de dos motores.

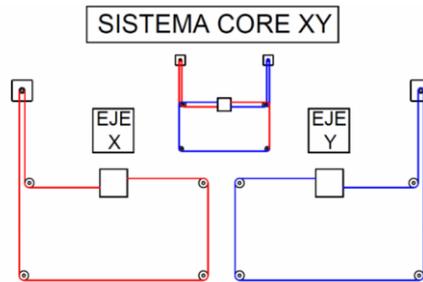


Figura 8. Ubicación de correas en sistema CoreXY

Fuente: Makkusu (2021)

Como se aprecia en la figura 8 se usan dos motores pero su ubicación es distinta a la ubicación que se les da en los modelos estructurales anteriores, en este tipo de configuración los motores forman parte de la estructura de esta forma se reduce la inercia y los movimientos son más rápidos, un motor se encarga de mover el cabezal en el eje X y otro motor en el eje Y sin necesidad que los motores se muevan, para esos se cuentan con poleas locas en el centro y realizar el movimiento de forma libre (Frax 3D, 2021).

### Sistema electrotécnico

La forma en cómo se conectan los dispositivos mencionados a la shield RAMPS es como se muestra en la figura 9 las conexiones entre las versiones 1.4 y 1.6 son exactamente las mismas, adicional a esas conexiones falta apreciar las conexiones del láser y de la fresadora, las cuales se verán en el desarrollo del proyecto.

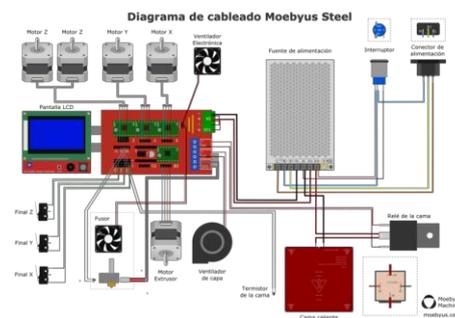


Figura 9. Conexiones de sistema electrotécnico

Fuente: Rep Rap Org (2021)

En esta sección se explicará las cosas más importantes que conforman el sistema electrotécnico dando una breve explicación de su funcionamiento y su uso.

- **Arduino**

El cerebro de la máquina CNC no industriales está basado en la plataforma de desarrollo Arduino, las máquinas fresadora y cortadoras láser se basan en la placa Arduino UNO R3 que se muestra en la figura 10 esta placa es suficiente para controlar todos los requerimientos de un proceso de mini fresado y corte láser.



Figura 10. Arduino UNO R3

Fuente: Arduino (2021)

Sin embargo, los requerimientos de una impresora 3D no pueden ser cubiertos por una placa Arduino UNO R3, es por eso que las impresoras 3D usan la placa Arduino MEGA2560 (figura 11.), esto debido a que la placa Arduino UNO R3 no cuenta con los pines necesarios para poder hacer el control de todos los dispositivos que se requiere conectar.

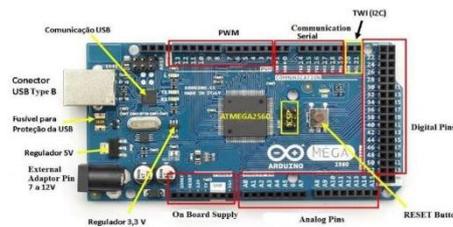


Figura 11. Arduino Mega 2560

Fuente: Arduino (2021)

La placa Arduino MEGA 2560, puede cumplir con las funciones de impresión 3D y no tiene problemas en ejecutar las tareas de una mini fresadora y cortadora láser, debido a que cuenta con muchos pines libres para poder anexar todos los dispositivos que se requieren.

## ▪ Shield RAMPS

Para que el Arduino puede enviar las señales de forma correcta a los actuadores se usa una shield que es una tarjeta que se monta en el Arduino para facilitar las conexiones, la shield usada para los trabajos de mini fresado y corte láser es la shield CNC y la que se usa para impresión 3D es la shield RAMPS, en este proyecto se usara misma en su versión 1.6, tal y como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Ramps 1.6

Fuente: Rep Rap Org (2021)

La forma de cómo se conecta la RAMPS con el Arduino se muestra en la figura 13, la RAMPS mostrada en esa imagen es la versión 1.4., la diferencia de una versión respecto a la otra es la presencia de un disipador para los mosfet que controlan los ventiladores, extrusor y cama caliente (Rep Rap Org, 2021).

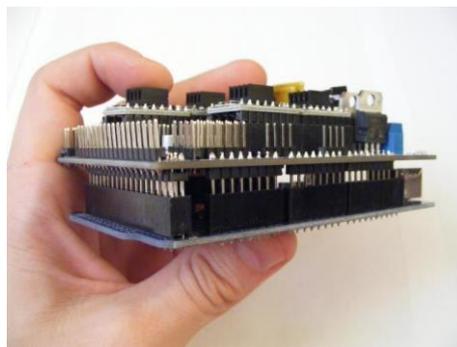


Figura 13. Montaje de Ramps + Arduino Mega 2560

Fuente: ALF 3D Printer (2021)

## ▪ Motor PAP

Es uno de los dispositivos más importantes que se conectan a la RAMPS, ya que son los encargados de realizar los movimientos adecuados para realizar las funciones, en la figura

9 se muestra cómo y dónde van conectados estos motores, se puede apreciar que la RAMPS puede soportar hasta 5 motores de los cuales 3 son para los ejes X, Y y Z y 2 para los extrusores de material, en la figura 14 se muestra uno de los tipos de motores nema que se usan en las máquinas CNC que son nema 17, también se en usan los nema 23 y unipolares.



Figura 14. Motor Nema 17

Fuente: ZYLTECH (2021)

- **Driver de control de motores**

Es un dispositivo electrónico usado para controlar los movimientos del motor nema 17 a través de pulsos de PWM en la figura 15 muestra cómo van conectados a la shield RAMPS.

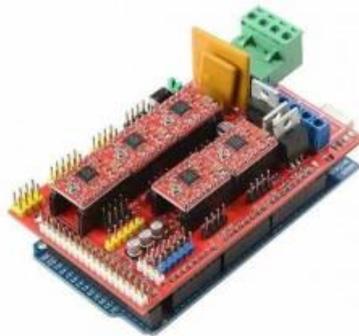


Figura 15. Drivers instalados en Ramps 1.4

Fuente: Ssdielect (2021)

Para entender el funcionamiento de un driver A4988 se debe tener en cuenta el funcionamiento general de un puente H y la diferencia de controlar un motor DC y un motor PAP que cuenta con muchas más bobinas, no es propósito de esta investigación explicar la base del funcionamiento de la electrónica de un puente H, Airaldi et al., (2015) hace un estudio detallado del funcionamiento de un driver controlador de motores PAP, en este

estudio se menciona el Vref que es el valor de voltaje al que debemos regular el driver para el óptimo funcionamiento del motor, la formula descrita es la siguiente:

$$V_{ref} = R1 * \frac{V_{out} - R2 * I_{adj}}{R1 + R2}$$

La fórmula descrita está basada en la construcción de controladores LM317, los valores de las resistencias R1 y R2 varían según el diseño, para los drivers A4988 seleccionados las resistencias son iguales, según Allegro Microsystems (2021) nos indica una variante de la misma basada en la configuración del driver. Por lo tanto, la fórmula de Vref para el driver A4988 es la siguiente:

$$V_{ref} = I_{adj} * (8 * R_s)$$

Donde:

Iadj: Corriente máxima del motor

Rs: Valor de resistencia usada

Para la formula final se debe tener en cuenta que los ajustes varían de acuerdo a la configuración de pasos para este caso se considera 1/16 de paso ya que esto nos asegura una mejor resolución en los movimientos de los motores nema 17.

#### ▪ **Finales de Carrera**

Dispositivo electrónico accionado de forma mecánica que sirve como sensor para que la maquina identifique sus límites en su área del trabajo como se muestra en la Figura 16 para la investigación se usaron los finales de carrera convencionales.

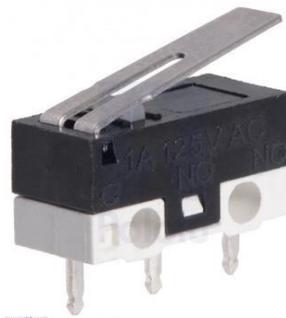


Figura 16. Final de carrera

Fuente: Bricogeeek (2021)

- **Termistor**

Sensor de temperatura que ayuda a que la máquina caliente lo suficiente y no se sobrepase para evitar que se fundan o malogren los demás dispositivos (Figura 17.) los más usados son los NTC100K, NTC4.7K y NTC10D7.



Figura 17. Termistor NTC100K

Fuente: Hetpro Store (2021)

- **Cama caliente**

Estructura plana que mantiene caliente el área de trabajo para que la impresión se adhiera hasta el término de esta, para seleccionar cual se usara se debe tomar en cuenta el voltaje, su dimensión y consumo (Figura 18).

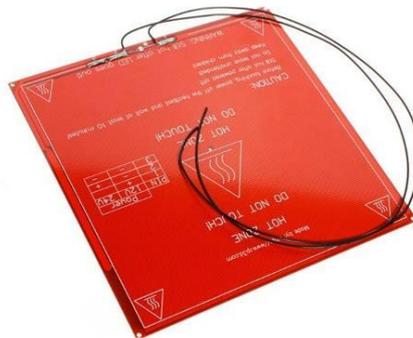


Figura 18. Cama caliente

Fuente: Mercado Libre (2021)

- **Extrusor**

Dispositivo donde se funde el material a imprimir y lo expulsa en hilos finos para realizar cada una de las capas, este es un kit completo, donde se elige el voltaje de operación, el tipo de material del que este hecho (figura 19).



Figura 19. Extrusor MK8

Fuente: Electropro (2021)

- **Fresadora**

Se basa en un motor eléctrico acoplado a un Chuck de taladro que permita sujetar las brocas a usar, para su selección se tomara en cuenta las RPM del motor y el diámetro mínimo y máximo que tiene el Chuck (figura 20.).



Figura 20. Fresadora

Fuente: Alibaba (2021)

- **Láser**

Dispositivo emisor de luz, que se usa para el corte o grabado según se requiera, controlando desde la placa Arduino, regulando su potencia a través de pulsos de PWM. Si el láser es eléctrico las potencias disponibles son de 2.5W, 5W y 15W, siendo este último el

que se usara para los fines de la máquina, sin embargo, puede que no sea el más óptimo, para lo cual se debe usar laser CO2 que superan las potencias de los 40W y pueden cortar hasta metal. (Figura 21.).



Figura 21. Modulo laser 2.5W

Fuente: Banggood (2021)

#### ▪ Pantalla LCD

Dispositivo usado para mostrar la interfaz que interactúa con el usuario y poder realizar las funciones de la máquina sin necesidad de que esté conectada a una PC. El modelo que se usa en este proyecto es la pantalla LCD 128x64 REPRAP\_DISCOUNT\_FULL\_GRAPHIC\_SMART\_CONTROLLER (figura 22).



Figura 22. Pantalla LCD 128X64

Fuente: Mercado Libre (2021)

### Sistema de control

#### ▪ Marlin

El primer firmware lanzado de manera oficial fue GRBL el cual solo fue creado para maquinas CNC y basado en tarjetas Arduino Uno, luego se lanza Sprinter el primer firmware para impresión 3D basado en GRBL, actualmente el firmware más usado para impresión 3D es Marlin el cual parte de Sprinter y en el cual están basados todos los firmwares de

impresoras 3D que existen en el mercado con las variaciones que respectivas, las ventajas de usar Marlin es que es de uso libre, en su página web “marlinfw.org” puedes acceder a toda la información que se requiere y las actualizaciones del mismo el cual tiene su código alojado en la plataforma GitHub, donde miles de usuarios de todo el mundo exponen sus diferentes problemas y soluciones en impresoras 3D contando con una gran data para poder afrontar las necesidades que se requieren (Marlín, 2021).

Actualmente Marlin se encuentra en la versión 2.0 pero esta versión es exclusiva para placas de 32bits, Arduino solo es una placa de 8bits por lo cual se usara la versión 1.1.9 la cual es la versión definitiva para placas de 8bits, se debe tener en cuenta que la versión de Marlin elegida debe ser compatible con la versión de Arduino que se tenga en el ordenador, una vez seleccionadas las versiones compatibles se configuran las cosas básicas para el funcionamiento del sistema de control, se selecciona el tipo de material a utilizar, el diámetro del material a usar, la cantidad de extrusores, tipo de pantalla, tipo de controlador a usar y los menús disponibles en pantalla.

#### ▪ **Generación de código G**

La generación de código G, se realiza en software externos diseñados para cada una de las funciones, la función de este software es mapear los movimientos que debe ejecutar la máquina para realizar los trabajos de forma óptima, indicando en las líneas de código el movimiento a hacer, la potencia del cabezal, la velocidad y temperatura, los parámetros necesarios para que las funciones de la máquina.

Existen varios softwares muy populares dentro de la impresión 3D se puede encontrar, 3D Printer, Printrun, Slicer, Cura, etc. De acuerdo a la experiencia del investigador se explicará la configuración del software Cura\_ultimaker el cual se usará para la generación de código G de la función de impresión 3D. El software es de uso libre y se puede descargar en su página oficial <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>.

Al igual que los softwares para impresión 3D existen varios software para la generación de código G para el grabado y corte láser, para esta investigación se eligió el software “GRBL Láser” el cual es libre y se puede descargar en su página

<http://lasergrbl.com/>, su desarrollo está alojado en la plataforma GitHub, se puede encontrar en todas sus versiones y hay foros donde se puede consultar sobre las dudas que se tengan del uso o de las nuevas actualizaciones del software.

Respecto a las velocidades de avance que se deben configurar Láser GRBL ofrece una tabla con recomendaciones de velocidad de acuerdo al material y la potencia del láser, esta pequeña base de datos se muestra en el anexo 01 se debe tener en cuenta que esto es una referencia debido a que va a depender de las condiciones que se tengan del material y potencia del láser.

La función de mini fresado es la más compleja en cuanto a la configuración para la generación de código G, ya que requiere configuraciones como tipo de broca, velocidad de avance, profundidad de corte, etc. el software propuesto para la generación del código G es el FlatCAM en su versión 8.99, este se puede descargar de forma gratuita en su página oficial <http://flatcam.org/>.

#### ▪ **Interfase HMI**

Hace referencia a la pantalla que interactúa con el operario, esta interfase hace que la máquina sea independiente de una PC, esta interfaz cuenta con conexión de tarjeta SD, donde se puede guardar el archivo del código G y a través de esta interfase hacer que el microcontrolador interprete las líneas de código G y las ejecute (Rodríguez, 2021).

#### **Impresora D-BOT Core XY**

En el mercado existen muchas alternativas de impresoras 3D para la máquina propuesta se utilizó como referencia la máquina D-BOT Core XY la cual se muestra en la figura 23.

El diseño de la estructura de “D-BOT-CORE XY” se hace con perfil de aluminio Vslot 2020 y 2040 para un área de trabajo de 300 mm X 200 mm X 325 mm, perfiles comerciales en la industria de la impresión 3D.

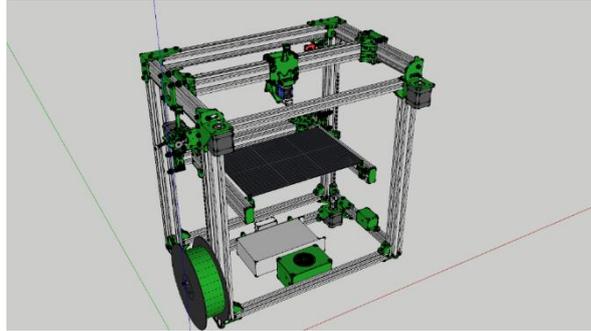


Figura 23. D-Bot-Core XY 3D printer

Fuente: SketchUp (2021)

En la figura 24 se aprecia la distribución de los perfiles de aluminio que se usan para el montaje de la “D-Bot-Core XY”, se cuenta con dos tipos de perfiles, los perfiles 2020 y 2040 sus características se aprecian en el anexo “”, en la tabla 1 se aprecia el tipo de perfil y la medida que se usa para la construcción de “D-Bot-Core XY”.

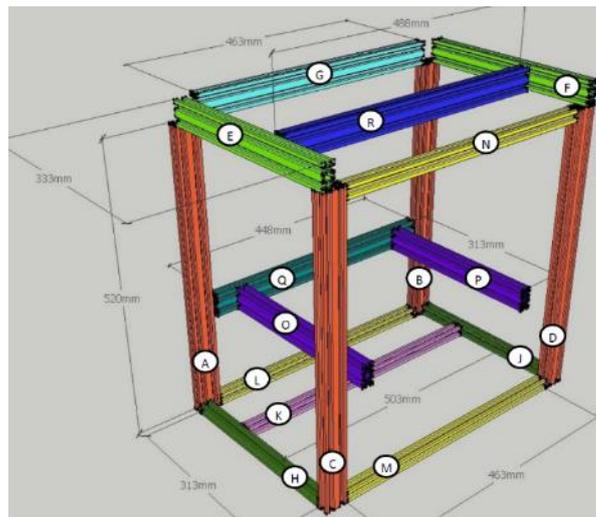


Figura 24. Medidas de perfiles de estructura de D-Bot-Core XY

Fuente: Spaulding. (2017)

Tabla 1. Medidas de perfiles Vslot "D-Bot-Core XY"

Letra	Tipo de perfil Vslot	Medida (mm)
A,B,C,D	2040	520
G	2040	463
R	2040	488

Q	2040	448
E,F	2040	333
O,P	2040	313
L,M,N	2020	463
K	2020	503
H,J	2020	313

### **III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **MODELADO DE ESTRUCTURA MECÁNICA**

Se describe de manera general la estructura mecánica de la impresora D-Bot-Core XY y en la tabla 1 se resumen las medidas de los perfiles Vslot con los que esta máquina cuenta, para poder iniciar el modelado partimos definiendo nuestra área de trabajo, luego se procede a definir las dimensiones de los perfiles Vslot y selección de motores para ensamblar la estructura cubica.

Después de ensamblar la estructura cúbica se procede a ensamblar los mecanismos para movimientos de los ejes X e Y los cuales van apoyados en la parte superior de la estructura cúbica a continuación el eje z se ensambla previa selección del husillo de potencia.

Para culminar con la estructura mecánica se procede con el modelado y ensamble de los cabezales y su mecanismo de sujeción. Todas las dimensiones y proceso de ensamble se aprecian de manera más detallada en el anexo 02.

#### **Dimensionado de máquina multifuncional**

Las dimensiones en los ejes XY, se van definir de acuerdo al modelo de cama caliente disponible en el mercado, el modelo más grande existente en el mercado que sería de dimensiones de 300 mm x 300 mm, las dimensiones del eje Z están definidas por los requerimientos que se tienen para el prototipaje de piezas mecánicas, se requiere una altura como mínimo de 300 mm, estas piezas se usan en estructuras para drones o para la fabricación de máquinas CNC y se podría usar en futuros proyectos de prototipaje para robots más robustos.

En la figura 25 se muestra la disposición de los perfiles de aluminio con medidas más alargadas y con 3 perfiles más (S, T, V, W, X, Y) lo cual sería la primera mejora o adaptación en la parte estructural respecto a la “D-Bot-Core XY”.

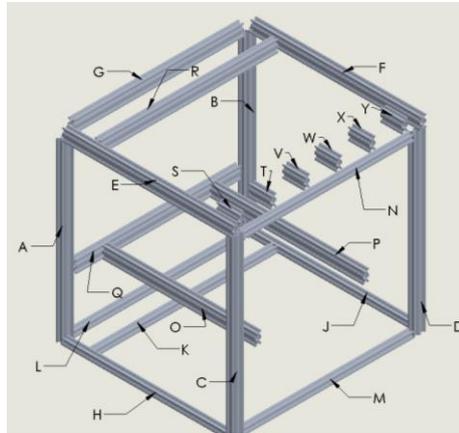


Figura 25. Distribución de perfiles Vslot máquina multifuncional

En la tabla 2 se muestran las medidas respectivas de los perfiles de aluminio del tipo 2020 y 4040, la variación respecto a las medidas de los perfiles que se indican la tabla 1 son de manera uniforme para todos los perfiles.

Tabla 2. Medidas de perfiles de máquina multifuncional

Letra	Tipo de perfil Vslot	Medida (mm)
A,B,C,D	2040	578
G	2040	553
R	2040	578
Q	2040	538
E,F	2040	553
O,P	2040	498
S,T,V,W,X,Y	2040	100
L,M,N	2020	553
K	2020	593
H,J	2020	533

Las dimensiones se tomaron en cuenta debido al requerimiento principal de la máquina multifuncional que consiste en tener una cama de impresión de  $300 \times 300 \text{ mm}^2$ , en la figura 26 se muestra las dimensiones totales de la máquina en los tres ejes, por lo tanto, la máquina tendrá una dimensión total de  $628.8 \text{ mm} \times 573.25 \text{ mm} \times 617.75 \text{ mm}$  y dimensión efectiva de trabajo de  $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 370 \text{ mm}$ .

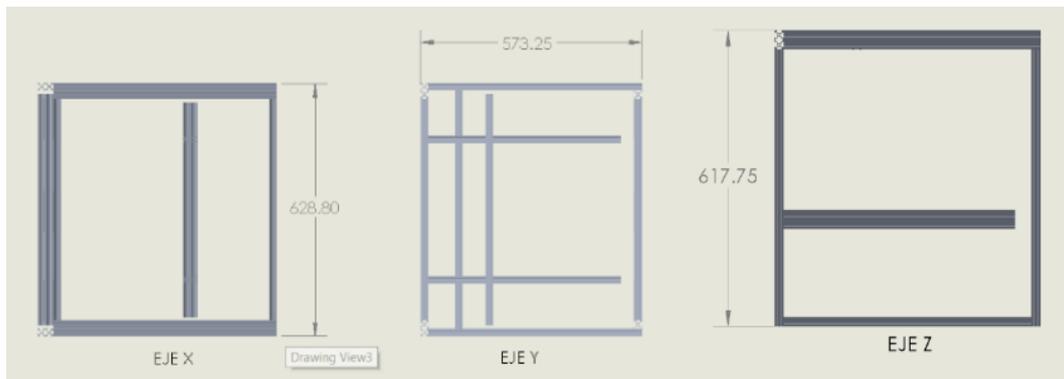


Figura 26. Dimensiones máquina multifuncional

### Selección de motores

Para esta selección se tomó en cuenta solo motores paso a paso ya que estos son los usados en máquinas CNC, se toma en cuenta los 3 tipos de motores paso a paso:

- Opción 01: Motor Híbrido de Paso (Nema 23)
- Opción 02: Motor Paso a Paso Unipolar
- Opción 03: Motor paso a paso Bipolar (Nema 17)

Las condiciones para tomar en cuenta en la selección son las siguientes:

- Condición 01: Fuerza (30%)

En este punto se toma en cuenta la fuerza que se requiere para la máquina y que cada tipo de motor puede brindarnos, para el proceso no se requiere una fuerza excesiva, pero se debe tener en cuenta que de no tener la fuerza necesaria los movimientos no se podrán ejecutar como se requiere.

- Condición 02: Precisión (30%)

Aquí se toma en cuenta cual es el mínimo ángulo de giro que puede dar cada tipo de motor se dará la mayor puntuación al que tenga el menor ángulo de giro, el ángulo de giro por paso nos determinará la precisión.

- Condición 03: Compatibilidad (20%)

En este punto se analiza cuál de los 3 tipos de motores propuestos son compatibles con la placa a seleccionar dando mayor puntuación al motor que tenga mejor compatibilidad en cuanto a conexión.

- Condición 04: Disponibilidad en mercado (10%)

Aquí se toma en cuenta la facilidad en que se puede encontrar en el mercado dando mayor puntuación al dispositivo que tenga menor tiempo de llegada frente a la necesidad de un repuesto del mismo.

- Condición 05: Precio en mercado (10%)

Aquí se toma en cuenta el precio de cada tipo de motor dando la mayor puntuación al precio más bajo, se toma en cuenta el menor precio independiente del tiempo de disponibilidad del mismo.

En la tabla 2 se muestra que el motor seleccionado es el nema 17 el cual se muestra en la figura 14 dentro de los motores de este tipo se debe tener en cuenta que existen diferentes tipos los cuales varían en amperaje y ángulo de giro, este tipo de motor se usará para los ejes X, Y y Z además para el extrusor, todos los motores nema 17 tienen un eje de 5 mm, los elegidos para esta aplicación son de 1.7 amperios y 1.8° por paso debido a que son los más comerciales que se acoplan a los requerimientos.

Tabla 3. Selección de motores

		MOTORES A SELECCIONAR					
		Opción 01		Opción 02		Opción 03	
N°	Ponderación	PUN	PF	PUN	PF	PUN	PF
1	0.3	6	1.8	5	1.5	9	<b>2.7</b>
2	0.3	10	3	8	2.4	10	<b>3</b>
3	0.2	8	1.6	7	1.4	10	<b>2</b>
4	0.1	9	0.9	7	0.7	9	<b>0.9</b>
5	0.1	6	0.6	8	0.8	7	<b>0.7</b>
Total de PF			7.9		6.8		<b>9.3</b>

PUN: Puntuación

PF: Puntuación final

### Modelado de los sujetadores de perfiles

Debido al gran avance la industria de la impresión 3D y la fabricación de máquinas CNC en el mercado se puede encontrar piezas comerciales para ensamblar partes básicas de las máquinas CNC ya sean mecanismos de transmisión de los ejes como piezas para unión de los perfiles VSlot mencionados en puntos anteriores.

En este punto se va a describir de manera breve las uniones utilizadas para unir los perfiles de aluminio de toda la estructura, el mercado nos ofrece diferentes opciones de piezas de uniones de aluminio para agilizar este proceso, sin embargo, esto generaría un costo muy elevado, por eso se plantea el modelado en base a las piezas de la máquina D-BOT CORE XY mencionada en el capítulo II esto nos ayuda a tener uniones personalizadas las cuales se adaptan de mejor forma a los requerimientos de la transmisión y unión de los perfiles de aluminio.

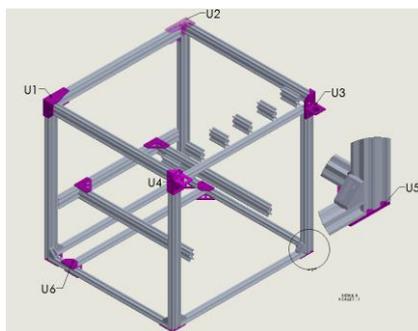


Figura 27. Uniones de estructura cúbica

Tabla 4. Uniones de perfiles

NUMERO DE UNIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
U1	UNIÓN POSTERIOR IZQUIERDA	1
U2	UNIÓN POSTERIOR DERECHA	1
U3	UNIÓN DE MONTAJE DE MOTOR IZQUIERDO	1
U4	UNIÓN DE MONTAJE DE MOTOR DERECHO	1
U5	SOPORTE DE ESQUINA	10
U6	UNIÓN EN T	2

Las uniones U1 y U2 son muy similares la diferencia entre ellas es que están reflejadas para poder ser usadas en el lado derecho e izquierdo, en la figura 28 nos muestra una vista del modelo de unión para poder sujetar tres perfiles, las medidas generales donde ingresan los perfiles están modeladas a la medida de los perfiles 2040 seleccionados en puntos anteriores.

Existen orificios diseñados especialmente para el paso de las correas de la configuración core XY estas se encuentran a la altura de los canales del perfil para que las correas pasen por estos sean como guías en el movimiento.

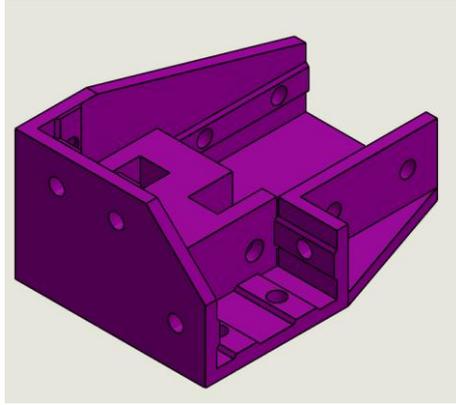


Figura 28. Unión posterior

La figura 29 muestra el modelado de las uniones U3 y U4, que al igual que las uniones U1 y U2 son similares debido a que están reflejadas para poder ser usadas como soporte de motores y soporte de perfiles 2040 y 2020 en la parte frontal tal y como se muestra en la figura 29 al igual que las uniones U1 y U2, se puede apreciar un orificio para las correas.

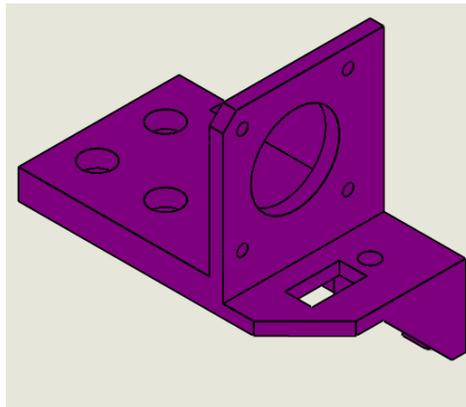


Figura 29. Unión de montaje de motor

En la figura 30 se muestra la unión U5 la cual es usada para reforzarlas uniones en las esquinas de la estructura, como se puede apreciar en la figura 27 su uso es para la parte inferior de la máquina y para uniones de la estructura en el eje Z.

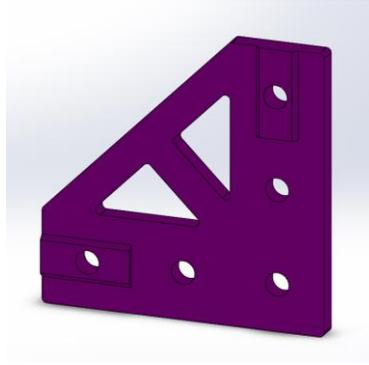


Figura 30. Soporte de esquina

La figura 31 nos muestra la última unión a utilizar para el ensamble de la estructura cúbica la cual es usada específicamente para la unión del perfil donde se ubican los motores que dan movimiento al eje Z.

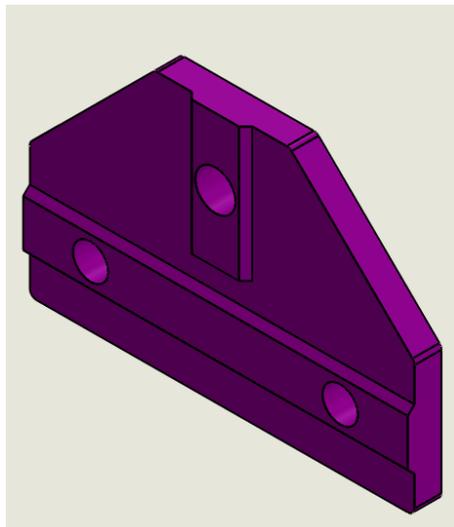


Figura 31. Soporte en T

### **Ensamble de estructura cúbica**

El montaje inicia con las uniones U1 y U2 como se muestra en la figura 32, piezas modeladas con el fin de poder unir los perfiles y a la misma vez poder montar los mecanismos para el tejido de correas que harán los movimientos de X y Y.

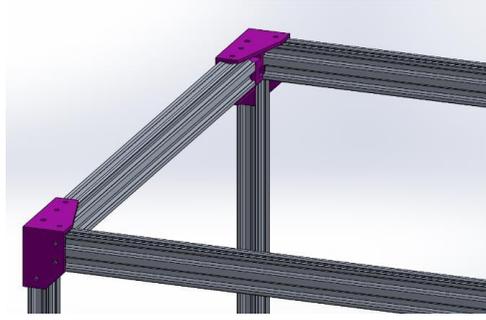


Figura 32. Unión de perfiles Vslot 2040 parte superior

El modelado de las piezas de unión para la estructura se basa en las piezas que tiene la “D-Bot-Core XY” sin embargo puede que existan ligeras variaciones poco visibles en medidas debido a que no existen planos con las medidas de las mismas, en los anexos se incluirán los planos a detalle de cada una de las piezas con el fin de dejar una base para futuras mejoras.

En la figura 33 tenemos la forma en cómo se monta los pernos y el mecanismo para la transmisión por correas, para la unión de perfiles de aluminio por lo general se hace tuercas especiales Vslot y pernos M5 x 100 mm y el código de los rodamientos usados es F623ZZ, que se ponen como se aprecia en la figura 33 con pernos M3 x 25 mm, estos rodamientos se pueden reemplazar por piezas imprimibles, pero solo se debe recurrir a su reemplazo si no se pueden conseguir el modelo de los rodajes

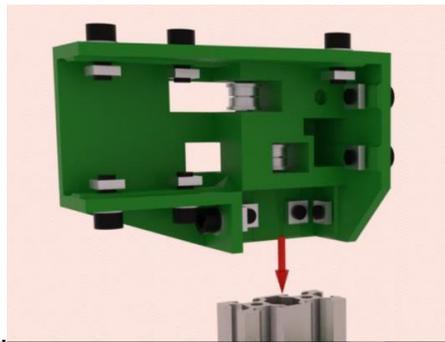


Figura 33. Preparación de piezas de unión para montaje

Fuente: Spaulding. (2017)

A continuación, se procede al montaje de las U3 y U4 que se aprecian en la figura 34, al igual que las piezas anteriores estas están modeladas para que los perfiles encajen sin problemas y además sirven de soporte para motores nema 17.



Figura 34. Montaje de piezas de unión y soporte de motores

Al igual que la pieza mostrada en la figura 33 se realiza el montaje de los pernos respectivos con pernos M5 x 10 mm y las respectivas tuercas Vslot para asegurar la estructura.

Para cerrar el cuadrilátero de la parte superior de la estructura solo se usa uniones de tipo escuadra de 90° como se muestra en la figura 35 para esta unión no hay piezas especiales modeladas, solo la escuadra, que según Spauling (2017) deben ser fabricadas con impresión 3D, pero por experiencia del investigador esto generaría problemas de estabilidad, por lo cual se procede a usar escuadras de 90° de aluminio, lo cual a nivel económico no generaría mucha diferencia debido a que, por el tiempo de impresión, los costos son los mismos incluso resulta más económico usar las piezas de aluminio.

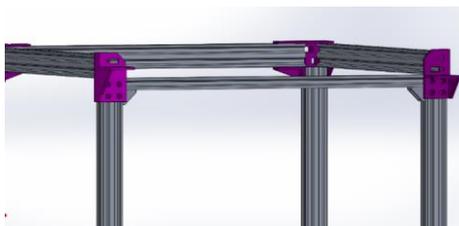


Figura 35. Unión con escuadras de 90°

Luego de ensamblar correctamente la parte superior con los parantes respectivos se procede a ensamblar la parte inferior, para ensamblar esta parte solo se usa escuadras de 90° y uniones U5 para ayudar a reforzar las uniones de los 3 perfiles, la figura 36 nos muestra cómo se hace el montaje de los perfiles y las piezas con las escuadras, para unir estas partes se usan pernos M5 x 10 mm con sus respectivas tuercas Vslot.

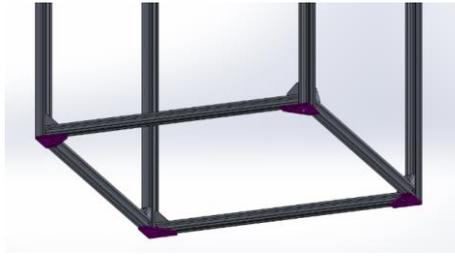


Figura 36. Ensamble de parte inferior de estructura cúbica

Para culminar con el ensamble de la parte cúbica se procede al ensamble del perfil donde se ubicó los soportes para motor del eje Z, en la figura 37 se muestra la ubicación y forma de ensamble con sus respectivas piezas, en este caso no se utilizan escuadras de 90° porque este perfil no está ligado directamente la rigidez de la estructura, a diferencia se utiliza la unión U6 y a la unión de la parte inferior que es la misma unión U5, en la figura 37 también se puede apreciar la distancia a la que se ubica este perfil del perfil de la estructura cúbica.

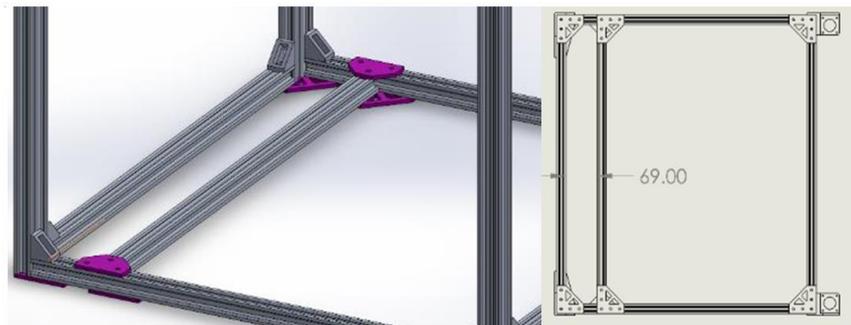


Figura 37. Ensamble de perfil para soporte de motores de eje Z

Finalmente, la estructura cúbica queda ensamblada y lista para poder ensamblar las piezas de los ejes XY, el ensamble final se aprecia en la figura 38.

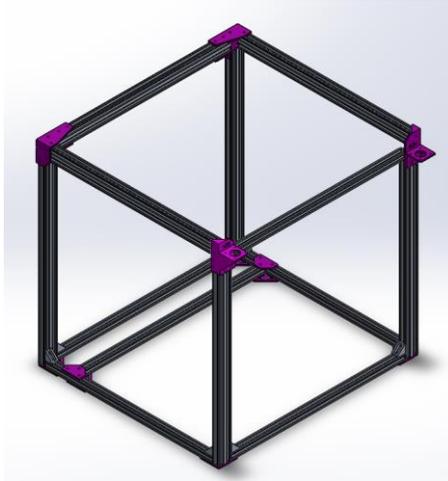


Figura 38. Ensamble de estructura cúbica.

### Ensamble del eje Y

Después de culminar con el ensamblaje de la estructura cubica se usa la parte superior de esta como guía para el movimiento en el eje Y en general para este eje se tienen modeladas dos piezas las cuales van reflejadas y se muestran en la figura 39 estas piezas se usan reflejadas a cada lado del eje.

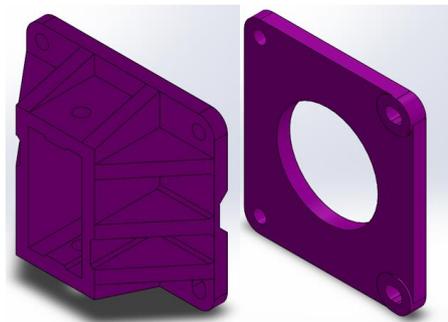


Figura 39. Piezas de eje Y

Estas piezas son ensambladas con ruedas vslot y pernos M5 tal y como se muestra en la figura 40 las ruedas vslot usadas en este mecanismo son el tipo C a diferencia de la máquina D-Bot Core XY que usa el tipo B, para poder hacer este cambio se modificaron las piezas mostradas en las 39 con el fin de que estas encajen sin problemas, también se puede apreciar en la figura 40 el ensamble de un perfil vslot que une las dos partes y que será la guía para el eje X.

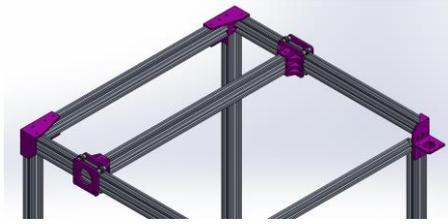


Figura 40. Ensamble de eje Y

### **Ensamble de eje X**

Una vez ensamblado las piezas para el eje Y, se procede a ensamblar las piezas para el eje X lo cual se muestra en la figura 41 las dos piezas modeladas son muy similares pero la del lado anterior esta modificada para el soporte de un electroimán que será para la sujeción de los cabezales.

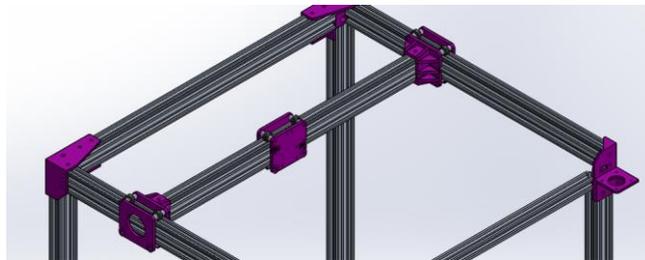


Figura 41. Ensamble del eje X

En estas piezas es donde van sujetadas las correas para los movimientos en los ejes XY al igual que en el eje Y se están usando ruedas vslot tipo C.

### **Ensamble de eje Z**

Antes de empezar a explicar el ensamble de estructural del eje Z es muy importante tener en cuenta que este eje no usara correas para su movimiento, en este caso se plantea usar husillos de trasmisión, para ello se debe plantear una selección de los tipos de husillo disponibles en el mercado y que dan facilidades para montaje en estructuras de impresoras 3D.

#### **▪ Selección de husillo de trasmisión**

- Condición 01: Disponibilidad en mercado (30%)

Aquí se toma en cuenta la facilidad con que se puede adquirir los mismos en el mercado local dando la mayor puntuación al que este más accesible.

- Condición 02: Precio en mercado (20%)

En este punto se toma en cuenta los precios de los diferentes modelos propuestos seleccionando, teniendo mayor puntuación el de menor precio

- Condición 03: Avance por vuelta (20%)

En este punto se toma en cuenta el avance por vuelta de cada uno de los tornillos propuestos, teniendo en cuenta que el avance no debe ser muy elevado para los usos de la máquina, la mayor puntuación será designada a como el diseñador crea conveniente.

- Condición 04: Precisión (20%)

En este punto se toma en cuenta la precisión que tiene cada uno de los husillos al convertir el movimiento rotacional del motor en movimiento lineal, la mayor puntuación la tendrá el que muestre más precisión.

- Condición 05: Calidad en acabado (10%)

Como último punto, pero no menos importante es el acabado superficial de cada husillo propuesto ya que esto influenciara en su tiempo de vida y a qué condiciones puede trabajar.

Los husillos propuestos son los siguientes:

- Opción 01: Tornillo sin fin (esparrago)  
1 mm avance, diámetro 8mm, 1 entrada.
- Opción 02: Husillo de bolas T8  
8mm avance, diámetro 8mm, 4entradas.
- Opción 03: Husillo de bolas T16

8mm avance, diámetro 16mm, 4 entradas.

Tabla 5. Selección de husillo de transmisión.

N° Condición	Ponderación	Modelos de Husillo					
		Opción 01		Opción 02		Opción 03	
		PUN	PF	PUN	PF	PUN	PF
1	0.3	5	1.5	9	<b>2.7</b>	7	2.1
2	0.2	7	1.4	8	<b>1.6</b>	5	1
3	0.2	5	1	9	<b>1.8</b>	9	1.8
4	0.2	9	1.8	7	<b>1.4</b>	7	1.4
5	0.1	6	0.6	10	<b>1</b>	10	1
<b>Total de PF</b>			<b>6.3</b>		<b>8.5</b>		<b>7.3</b>

PUN: Puntuación

PF: Puntuación final



Figura 42. Husillo de bolas T8

Fuente: [AliExpress \(2021\)](#)

Por lo tanto, el husillo seleccionado es el Husillo de Bolas T8, de diámetro de 8mm con su respectiva tuerca el cual se muestra en la figura 42.

Una vez seleccionado el husillo de transmisión se procede a explicar el ensamble estructural del eje Z, su modelado se ha basado en “D-Bot-Core XY” por lo que no se detallarán cálculos adicionales, solo se explicarán los criterios tomados en cuenta para la

distribución de cada parte y las ligeras variaciones que se hicieron para los soportes de transmisión.

La transmisión en el eje Z estará impulsada por los husillos de trasmisión y como guías se usarán los rieles del perfil 2040 de los parantes de la estructura cúbica, por ello es necesario modelar una pieza que nos permita unir los perfiles para la trasmisión, la figura 43 muestra el modelado de una pieza con las dimensiones para soportar el perfil 2040, es necesario usar dos piezas por cada extremo de perfil para poder cubrir y asegurar el perfil.



Figura 43. Guía de eje Z

Al igual que en el ensamble de la parte de la estructura cúbica para sujetar la pieza al perfil se usarán pernos M5X10mm con sus respectivas tuercas Vslot, la figura 22 muestra la forma de cómo se ubican las dos piezas sobre el perfil Vslot, de la misma manera se ensambla el otro extremo del eje.

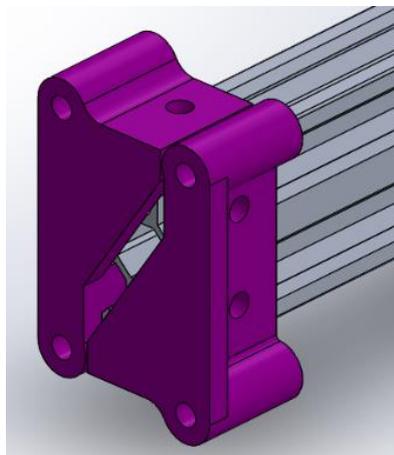


Figura 44. Ubicación de guías para ruedas sobre perfil Vslot

Luego de ensamblar de manera correcta las piezas en el perfil se procede a poner las ruedas tipo V para el movimiento sobre los rieles de los parantes, la figura 45 muestra la ubicación y el ensamble de estas ruedas, cada rueda debe ir con espaciador de 6mm y pernos M5 x 40 mm, de la misma manera se ensambla el otro extremo del perfil.

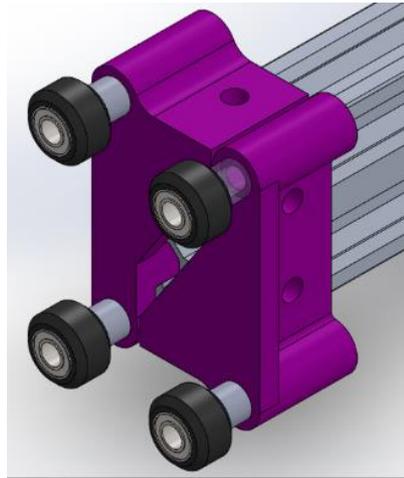


Figura 45. Ensamble de ruedas tipo V para eje Z

Una vez ensamblado el perfil con las ruedas de transmisión se procede a ubicar los perfiles como soporte para la cama de trabajo y los que irán ensamblados con el husillo de transmisión previamente seleccionado, la figura 46 muestra la forma en cómo se ubican los perfiles, los cuales van unidos con escuadras de 90° las distancias que se muestran se ajustan para poder poner una cama de trabajo de 300 x 300 mm<sup>2</sup>.

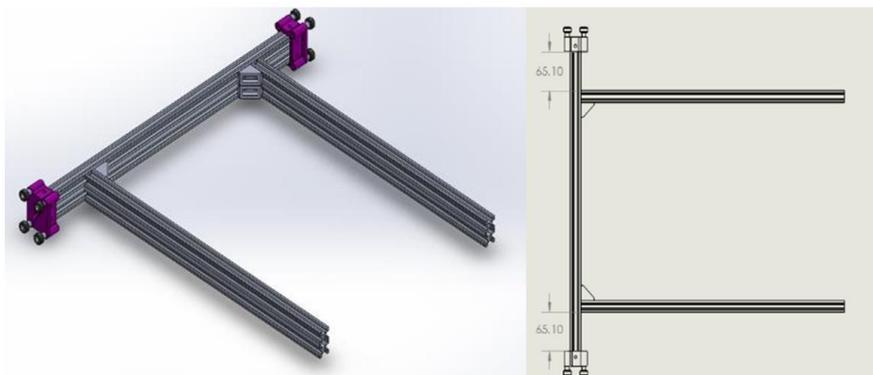


Figura 46. Ensamble de perfiles de soporte para cama de trabajo

Para completar el ensamble se ubican los soportes de la cama de trabajo y las dos piezas donde ira ubicada la tuerca de los husillos de trasmisión, ademas se usa a manera de refuerzo dos piezas de 90° en las uniones de los perfiles, la figura 47 muestra ensamble completo del eje Z y la figura 48 nos muestra las distancias respectivas de cada uno de los soportes de la cama de trabajo y los soportes para las tuercas de los husillos.

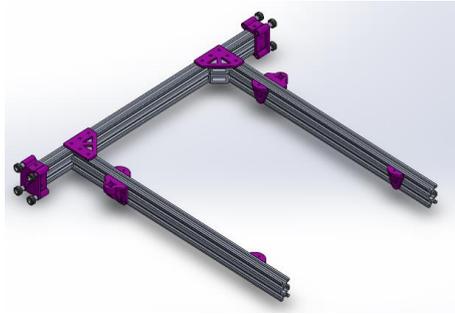


Figura 47. Ensamble completo de eje Z

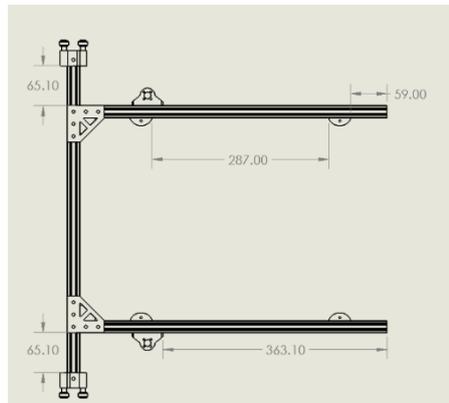


Figura 48. Distancias de soportes de cama y soportes eje de Z

Para completar con el ensamble del eje Z se procede montarlo sobre la estructura cúbica ya armada, para poder realizar el empalme se recomienda retirar uno de los soportes para guías del eje Z de ambos extremos, encajarlo y luego ajustarlo nuevamente para evitar el desmontaje de la estructura cúbica, en la figura 49 se aprecia cómo quedaría el ensamble de la estructura del eje Z y la estructura cúbica.

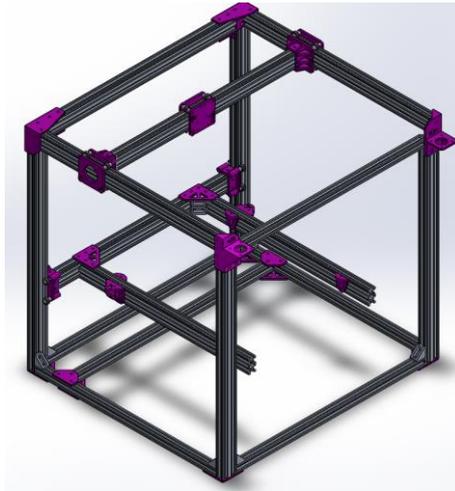


Figura 49. Ensamble de eje Z a estructura cúbica

En puntos anteriores se seleccionó el tipo de motores a utilizar para la construcción de la máquina estos fueron los NEMA 17 por lo cual se modela un soporte para que estos puedan ser instalados en el perfil que soporta los motores del eje Z.

En la figura 50 se muestra el modelado del soporte para el motor nema 17 este soporte va acoplado al perfil de aluminio transversal que se muestra en la figura 37 a 69 mm del perfil de la estructura cúbica.

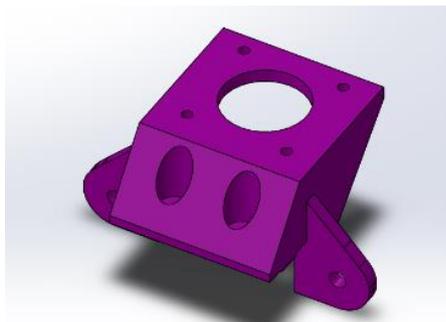


Figura 50. Pieza para motor de eje Z

En la figura 51 se muestra el ensamble final de la transmisión con los motores nema 17 y Husillo T8, se debe tener en cuenta el acople que se usa entre el eje del motor y el husillo es un acople flexible 5mm-8mm de la misma forma se muestra las distancias respectivas que se debe tener entre las caras de los soportes para los motores nema 17.

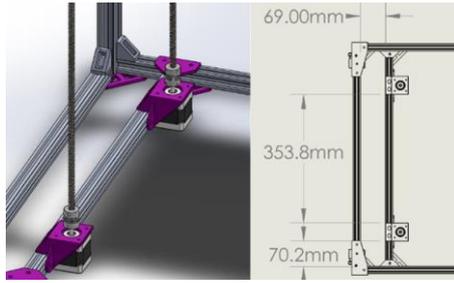


Figura 51. Ensamble de transmisión en el eje Z

Para culminar con el ensamble completo del eje Z se muestra en la figura 52 todo el mecanismo modelado completamente ensamblado con la cama caliente ubicada donde corresponde.

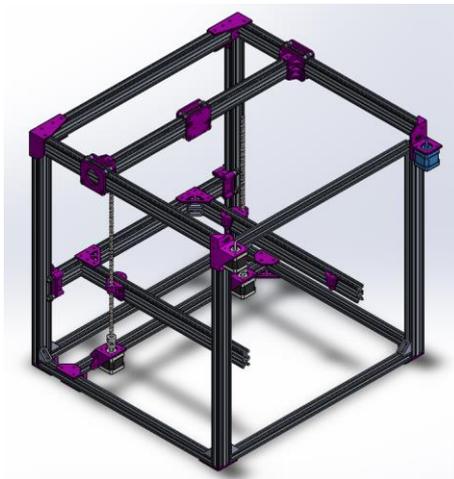


Figura 52. Ensamble final eje Z

- **Ensamble final de selector de cabezales – eje**

En la figura 53 se muestra el ensamble final con el electroimán seleccionado para poder hacer la selección de cabezales, respecto a la selección de este solo se procedió a elegir a criterio del investigador únicamente teniendo en cuenta la capacidad del peso que este puede soportar, debido a que este equipo no se vende en mercado nacional y por su diseño no hay otro criterio a tener en cuenta, este equipo fue adquirido por importación desde china debido a que es más económico y es el único país donde se comercializa.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se procedió con la selección del electroimán con las siguientes características:

- Modelo: BR30/22
- Voltaje: 12V
- Marca: QGT
- Dimensiones: 30mmx22mm
- Capacidad: 10Kg – 100N

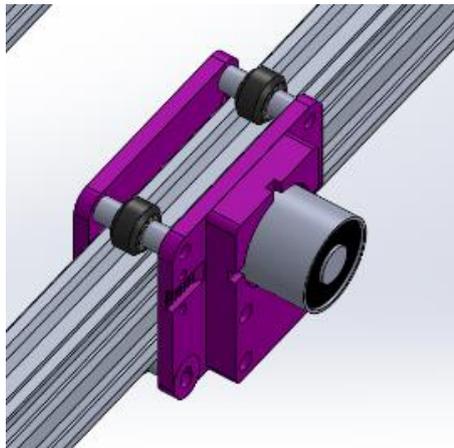


Figura 53. Ensamble final selector de cabezales

#### ▪ **Cabezales de máquina multifuncional**

En puntos anteriores se explicó el ensamble de los 3 ejes y la estructura cúbica, a continuación, se procede a explicar el ensamble respectivo de cada uno de los 3 cabezales que van a ejecutar las funciones que se requieren las cuales son:

- Impresión 3D
- Grabado láser
- Mini Fresadora



Figura 54. Ensamble final de base de cabezales

En la figura 54 se muestra el ensamble de la base de los cabezales que sera común para los 3 cabezales, este ensamble consta de 3 piezas, la base del ensamble, como se puede apreciar hay un agujero en la parte central donde va ingresar el electroiman montado en el eje X, para que el electroiman pueda sujetar al cabezal se considera el uso de una platina de medidas de 50 mm x 58 mm x 3.2 mm la cual seria la siguiente pieza del ensamble, por último la tercera pieza (esta pieza varia en modelo de acuerdo a cada cabezal) que seria la que ayudaria a sujetar la platina y todo el cabezal se mueva una vez activado el electroiman.

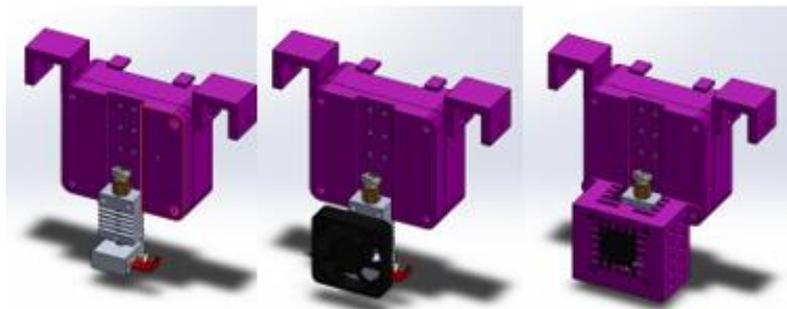


Figura 55. Ensamble de cabezal de impresión 3D

En la figura 55 se puede apreciar el ensamble completo del cabezal para impresión 3D, se puede apreciar un extrusor creality muy comercial en las impresoras ENDER, su respectivo ventilador y su carcaza que protege a toda la estructura, con esto se asegura que la parte del extrusor que trabaja a elevada temperatura y el ventilador puedan ocasionar daños a quien opera la máquina.

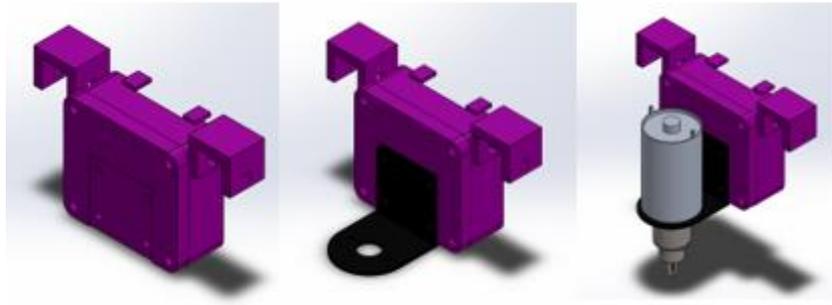


Figura 56. Ensamble de cabezal de mini fresadora

En la figura 56 se puede apreciar el ensamble completo del cabezal de la mini fresadora el cual consta de un motor DC y su respectivo soporte, finalmente se acopla su mandril con el cual se sujetarán las diferentes brocas para las diferentes operaciones.

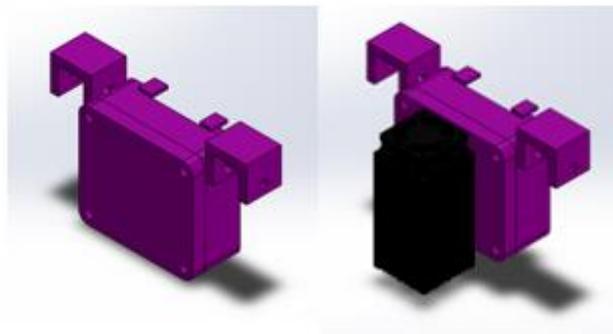


Figura 57. Ensamble de cabezal láser

En la figura 57 se aprecia el ensamble del cabezal láser a diferencia de los dos cabezales anteriores este solo consta de dos piezas para ensamble debido a que el láser ya viene en un módulo completo facilitando su montaje.

En la figura 58 Se muestra el ensamble de los cabezales sobre la estructura cúbica, se requieren de 6 perfiles de aluminio 2040 adicionales de 100 mm de largo, estos se distribuyen de manera uniforme sobre el perfil de aluminio transversal de la parte superior de la estructura cúbica, la separación entre perfiles es de 85mm los que soportan los cabezales y de 89 mm la separación entre cabezales, como se puede apreciar en la figura, también se aprecia que para poder sostener los cabezales en los perfiles de aluminio se hace

uso de ruedas Vslot las cuales facilitan el movimiento de entrada y salida al momento de la selección de los materiales.

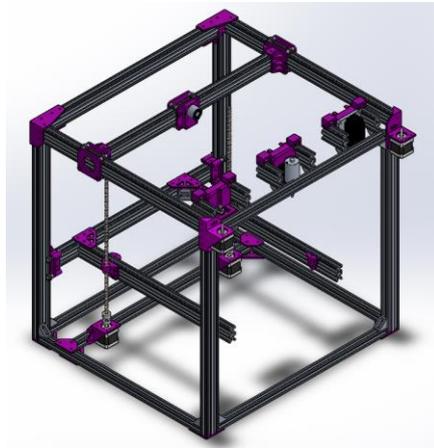


Figura 58. Ensamble de cabezales en estructura cúbica

### **Discusión de los resultados del modelado de la estructura mecánica**

En el mercado en la actualidad existen muchas alternativas de componentes para la impresión 3D y máquinas CNC en general, para esta investigación se toma como referencia la función de impresión 3D debido a que es la función que requiere más volumen de trabajo. Spauling (2017) en la guía de construcción de “D-BOT-CORE XY” indica que esta fue diseñada para una cama de impresión de  $200 \times 300 \text{ mm}^2$ , pero tomando en cuenta las medidas adecuadas se puede modificar y expandir para una cama de impresión de  $300 \times 300 \text{ mm}^2$ , cuya modificación realizada a las medidas de la estructura mecánica se muestran en la tabla 2, para los diferentes perfiles 2020 y 2040, adicional a esto se añaden 6 perfiles 2040 los cuales serán usados como soporte para los 3 cabezales de la máquina multifuncional. Airaldi et al. (2015), mencionan las ventajas más importantes de usar el husillo de potencia para la transmisión de movimiento, las cuales son, alta precisión y buena inercia, tomando en cuenta ese cuadro comparativo se usó el husillo solo para el eje Z debido a que este soporta un mayor peso y una transmisión por correas no sería factible debido a que las correas no tendrían la fuerza para levantar la estructura. Spauling (2017) en la guía de construcción de “D-BOT-CORE XY” sugiere el uso de ruedas V-Slot tipo B. Sin embargo, el cambio a ruedas tipo C para abaratar costos, modificando los agujeros en las piezas de las uniones dio resultados positivos pudiendo realizar los movimientos de forma adecuada.

## **SISTEMA ELECTROTÉCNICO**

### **Selección de electrónica y fuente de poder**

En el punto anterior se explicó el ensamble del modelamiento del sistema mecánico propuesto para la máquina multifuncional, se seleccionó los motores NEMA 17 los cuales se ajustaban mejor a los requerimientos para el sistema de transmisión en el eje Z, al ser el eje Z el mecanismo que requiere la mayor fuerza para la transmisión de movimiento se considera usar estos mismos motores para los ejes X y Eje Y, partiendo de estos motores nema 17 se procede a proponer las placas de control electrónicas para el control de la máquina.

#### **▪ Selección de la placa controladora**

Para esta selección no se tomó en cuenta placas MATCH 3 o equivalentes debido a que su uso es netamente industrial, para la selección se tomaran en cuenta placas base de impresión 3D, debido a que el sistema de control de una impresora 3D puede ejecutar Funciones de CNC realizando las modificaciones respectivas, las placas a seleccionar son las siguientes:

- Opción 01: Creality MotherBoard V1.1.
- Opción 02: MKS MotherBoard V1.1.3
- Opción 03: Shield Ramps 1.6 + Arduino Mega 2560

Como se puede ver solo se tomaron en cuenta las placas basadas en impresoras 3D y se analizará respecto a las siguientes condiciones:

- Condición 01: Disponibilidad en el mercado local (20%)

En este punto se toma en cuenta la facilidad con que se puede conseguir la placa en el mercado local ante una eventual avería.

- Condición 02: Precio en el mercado local (20%)

En este punto se toma en cuenta el precio de cada una de las placas y se considera con mayor puntaje al precio más bajo.

- Condición 03: Disponibilidad de pines para conexión de motores (40%)

En este punto se toma en cuenta la disponibilidad de pines necesarios para conectar la cantidad de motores que se requieren por el diseño mecánico.

- Condición 04: Disponibilidad de dispositivos complementarios (20%)

Al igual que la condición 02 se tomará en cuenta el precio en mercado local de cada dispositivo complementario para poder usar estas placas, ya sean pantalla, conectores, finales de carrera, etc.

Tabla 6. Selección de placa controladora.

		PLACAS A SELECCIONAR					
		Opción 01		Opción 02		Opción 03	
N° Condición	Ponderación	PUN	PF	PUN	PF	PUN	PF
1	0.2	5	1	5	1	8	<b>1.6</b>
2	0.2	6	1.2	6	1.2	10	<b>2</b>
3	0.4	8	3.2	8	3.2	6	<b>2.4</b>
4	0.2	4	0.8	4	0.8	8	<b>1.6</b>
<b>Total PF</b>			<b>6.2</b>		<b>6.2</b>		<b>7.6</b>

PUN: Puntuación

PF: Puntuación final

De acuerdo a la evaluación se procede con la selección de la placa conformada por arduino mega + ramps 1.6 que se muestran en la figura 59.

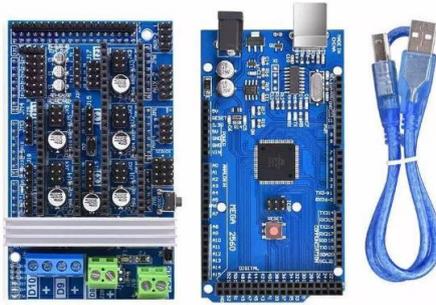


Figura 59. Ramps 1.6 + arduino mega 2560

Fuente: AliExpress (2021)

Una vez seleccionada la placa controladora, se presenta la necesidad de hacer la selección de drivers para motores los motores NEMA 17, a diferencia de las placas Creality y MKS, la placa basada en Ramps 1.6 permite seleccionar el tipo de driver a usar ya que las otras están diseñadas con el driver integrado.

#### ▪ Selección de drivers para motores

Habiendo seleccionado el tipo de motor nema 17, los drivers disponibles en el mercado y compatibles con la placa selecciona son los siguientes:

- Opción 01: Driver A4988 (2amp)
- Opción 02: Driver DRV8825 (2.2amp)
- Opción 03: Driver LV8729 (1.5amp)

Las condiciones propuestas por el diseñador para la selección del tipo de driver son los siguientes:

- Condición 01: Disponibilidad en el mercado (30%)

En este punto se toma en cuenta la disponibilidad en el de cada uno de ellos en el mercado para poder ser cambiados en caso de avería.

- Condición 02: Precio en el mercado local (20%)

En este punto se toma en cuenta el precio en el mercado local dando la mayor puntuación al que menos precio tenga.

- Condición 03: Amperaje (40%)

Se toma en cuenta el amperaje que pueden controlar y como los motores a usar no requieren tanta fuerza el amperaje será mínimo considerando los amperajes máximos de cada driver se hará la selección adecuada.

- Condición 04: Compatibilidad con los firmwares de control (10%)

En este punto se toma en cuenta la facilidad con la que se puede conectar los drivers sin mover ningún parámetro en el firmware a usar.

Tabla 7. Selección de drivers para motores

		DRIVERS A SELECCIONAR					
		Opción 01		Opción 02		Opción 03	
N° Condición	Ponderación	PUN	PF	PUN	PF	PUN	PF
1	0.3	9	<b>2.7</b>	9	2.7	4	1.2
2	0.2	10	<b>2</b>	8	1.6	2	0.4
3	0.4	8	<b>3.2</b>	6	2.4	10	4
4	0.1	10	<b>1</b>	9	0.9	8	0.8
Total PF			<b>8.9</b>		7.6		6.4

PUN: Puntuación

PF: Puntuación final

De acuerdo a los criterios evaluados para la selección de drivers se concluye que los drivers a utilizar son los modelos A4988 de 2 amperios que son los que se muestran en la figura 60.

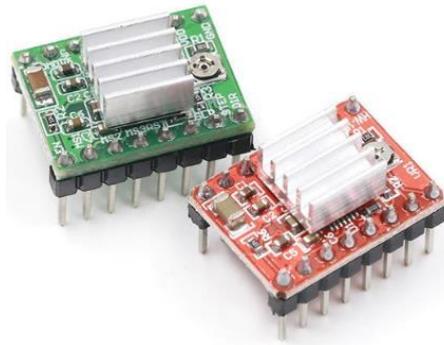


Figura 60. Driver A4988

Fuente: AliExpress (2021)

Hasta este punto se están eligiendo los dispositivos básicos para el funcionamiento de una impresora 3D, a continuación, se procede a la selección de la pantalla que mostrará la interfaz que servirá para la interacción hombre máquina y que también permite la independencia de la máquina de una computadora.

▪ **Selección de pantalla para interfaz**

De una forma muy similar a los criterios tomados en puntos anteriores se procede con la selección de la pantalla que nos servirá como medio de interacción hombre máquina, se debe tener en cuenta que las pantallas propuestas son las más comerciales en el rubro de la impresión 3D, las pantallas propuestas con las siguientes:

- Opción 01: Pantalla LCD 20X4 RepRap
- Opción 02: Pantalla LCD 128x64 RepRap Discount Smart Controller
- Opción 03: Pantalla Tactil TFT MKS

Las condiciones propuestas por el diseñador para la selección del tipo de driver son los siguientes:

- Condición 01: Disponibilidad en el mercado (30%)

En este punto se toma en cuenta la disponibilidad en el de cada uno de ellos en el mercado para poder ser cambiados en caso de avería.

- Condición 02: Precio en el mercado local (30%)

En este punto se toma en cuenta el precio en el mercado local dando la mayor puntuación al que menos precio tenga.

- Condición 03: Compatibilidad con los firmwares de control (40%)

En este punto se toma en cuenta la facilidad con la que se puede conectar la pantalla en la placa seleccionada moviendo únicamente el firmware de control.

Tabla 8. Selección de pantallas.

		PANTALLAS A SELECCIONAR					
		Opción 01		Opción 02		Opción 03	
N° Condición	Ponderación	PUN	PF	PUN	<b>PF</b>	PUN	PF
1	0.3	8	2.4	6	<b>1.8</b>	4	1.2
2	0.3	8	2.4	6	<b>1.8</b>	2	0.6
3	0.4	6	2.4	10	<b>4</b>	4	1.6
<b>Total PF</b>			<b>7.2</b>		<b>7.6</b>		<b>3.4</b>

PUN: Puntuación

PF: Puntuación final

De acuerdo a la evaluación mostrada en el cuadro 4.7 la pantalla a utilizar en la máquina multifuncional es la Pantalla LCD 128x64 RepRap Discount Smart Controller mostrada en la figura 61.



Figura 61. Pantalla LCD 128X64 RepRap Discount Smart Controller

Fuente: AliExpress (2021)

#### ▪ Selección de fuente de poder

Para la selección de las fuentes de alimentación se proponen tres tipos de que son las más comunes para la implementación de las máquinas CNC con Arduino, para esto se debe tener en cuenta que la maquina CNC su mayor carga son los motores que funcionan a 12V, el amperaje se considera el 60% del amperaje máximo de los drivers es decir 1.2amp por driver por lo tanto, como se pretende usar 5 motores el amperaje total que se requiere es de 6amp lo que equivale a una potencia de 72W, se considera una potencia de consumo para la fresadora de 75W, el consumo del cabezal de impresión de 50W, el consumo de la cama caliente de 100W y un láser de 15W de potencia.

Según las potencias descritas se procede a evaluar la potencia individual por función de la máquina los cuales serían las siguientes:

- Potencia para Mini Fresadora (PMF)=  $72W + 75W = 147W$
- Potencia para Grabado y Corte Laser (PL)=  $72W + 15W = 87W$
- Potencia para Impresión 3D (PI)=  $72W + 50W + 100W = 222W$

Para la selección de la fuente de poder de la máquina se va a tomar en cuenta la potencia más alta que se requiere en este caso la potencia para la función de impresión 3D que es de 222W.

Según Riquelme (2017), Considera como opción de fuente de poder una fuente para PC TMXPT0500 de 500W, justificando sus diferentes salidas de voltaje y su sobre protección ante cortocircuitos, por lo tanto, dentro de las selecciones propuestas se considera una fuente para PC, pero de 600W al ser la más comercial en el mercado local.

De acuerdo lo descrito se propone 3 fuentes de poder disponibles en mercado local para su uso:

- Opción 01: Fuente de poder 350W Micronics P5000 5000 Series
- Opción 02: Fuente de poder ATX 600 W
- Opción 03: Fuente Switching 12v 20Amp

Las consideraciones a tener en cuenta para la selección son las siguientes:

- Condición 01: Disponibilidad en el mercado (20%)

Una vez más se toma en cuenta la disponibilidad de los dispositivos en el mercado local para tener seguridad que se tendrá un repuesto frente a una eventual avería.

- Condición 02: Potencia Adecuada (40%)

Se tomará en cuenta la que más se aproxime a la potencia que requiere la máquina para no caer en el sobredimensionado de las mismas.

- Condición 03: Dimensiones (10%)

Este punto se tiene en consideración debido a que la fuente seleccionada se debe acoplar a los perfiles de aluminio y no generar interferencias en los movimientos, así como no generar un dimensionado en exceso.

- Condición 04: Precio en el mercado (30%)

Por último, se toma en cuenta el precio de cada una de las fuentes propuestas para poder hacer una correcta selección desde el punto de vista económico.

Tabla 9. Selección de fuente de poder.

		FUENTES A SELECCIONAR					
		Opción 01		Opción 02		Opción 03	
N° Condición	Ponderación	PUN	PF	PUN	PF	PUN	PF
1	0.2	8	1.6	8	1.6	6	<b>1.2</b>
2	0.4	5	2	7	2.8	8	<b>3.2</b>
3	0.1	8	0.8	8	0.8	10	<b>1</b>
4	0.3	5	1.5	5	1.5	8	<b>2.4</b>
Total PF			5.9		6.7		<b>7.8</b>

PUN: Puntuación

PF: Puntuación final



Figura 62. Fuente Switching 12V 20Amp

Fuente: Aliexpress (2021)

Según los resultados obtenidos en la tabla 9 se procede con la selección de una fuente Switching de 12v y 20Amp, el modelo de la fuente seleccionada se muestra en la figura 62, las consideraciones de porque se elige una fuente muy ajustada a la máxima potencia requerida es debido a que el único valor que podría aumentar es el de la fresadora hasta una potencia de 150W lo cual elevaría la PMF hasta 222W, la fuente seleccionada ejecutaría sin problemas la tarea si se requiere dispositivos de mayor potencia se tendría que variar la electrónica y modificar la estructura de los cabezales.

## Conexiones de dispositivos electrónicos y actuadores

Después de hacer las secciones de los dispositivos de electrónica y actuadores se procede a conectar de manera adecuada todos los dispositivos seleccionados. La ramps 1.6 está diseñada para ser montada sobre el Arduino Mega, como se puede apreciar en la figura 63.



Figura 63. Montaje de Ramps 1.6+ Arduino Mega 2560

Fuente: 3d Printers (2021)

La función de la ramps es direccionar los puertos del Arduino de tal forma que se pueda conectar los dispositivos que se requieran de forma más sencilla, en el Arduino se carga el firmware del cual se hablara más a detalle en puntos posteriores.

Para poder entender cómo se conectan o con que pines podemos contar es necesario entender cómo están distribuidos los pines del Arduino sobre la ramps, para saber esto se debe revisar su pinout, el mismo que se muestra en la figura 64.

En base al pinout mostrado en la figura 64 se harán las conexiones necesarias para las funciones que se requieren, el firmware de control usado para la máquina será “Marlin” el desarrollo de este firmware ya trae conexiones predeterminadas para los principales dispositivos de impresión 3D, en este punto se explicará las principales conexiones, en puntos posteriores de ser necesario se explicarán las conexiones adicionales.

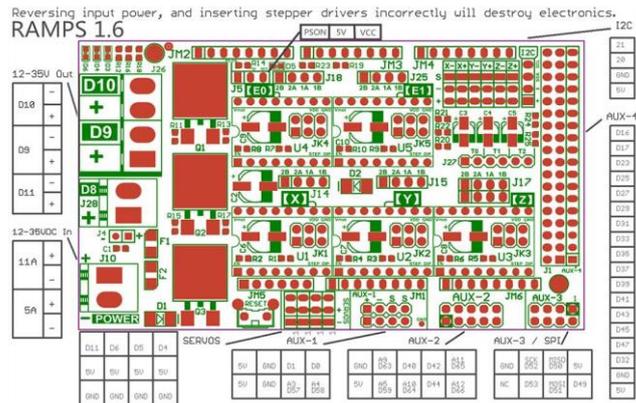


Figura 64. PINOUT Ramps 1.6

Fuente: RepRap Org (2021)

Los pines D10, D9 Y D11 se utilizan para conectar la extrusora, el ventilador de capa y la cama caliente respectivamente, Marlin esto se puede variar de acuerdo a nuestros requerimientos, se pueden usar dos ventiladores y no tener una cama caliente o tener dos extrusores y no tener ventilador, etc. Para la máquina multifuncional se usará el pin D9 para el control del PWM del láser, anulando el control de velocidad del ventilador y conectando este directamente a 12v para que este encendido durante toda la operación.

También se puede apreciar que se señalan X,Y,Z,E0 y E1, en estos pines van montados los drivers para el control de los motores PAP, se usarán los pines de X e Y para controlar los motores de los movimientos Core XY y el Z para uno de los motores del eje Z, como se tiene dos motores en el eje Z se requiere de una conexión adicional, según el diseño de la ramps se puede conectar dos motores al Z pero esto no es recomendable debido a que el driver suele sufrir recalentamiento y su tiempo de vida se acorta, por ello se procede a usar el E1 como control del segundo motor del eje Z.

Se tienen los pines de conexión de finales de carrera, se tiene X-,X+,Y-,Y+,Z-,Z+ donde “-“ significa el punto mínimo del recorrido del eje mencionado y “+” significa el punto máximo de recorrido del eje mencionado en la máquina multifuncional se usaran X-,Y- y Z- los puntos mínimos como punto cero.

Terminando con las conexiones más resaltantes de la conexión a la ramps 1.6 se tienen los puntos T0, T1 y la línea de pines J1 en estos se conectan el termistor de la extrusora, termistor de cama caliente y Conector adaptador para Pantalla LCD.

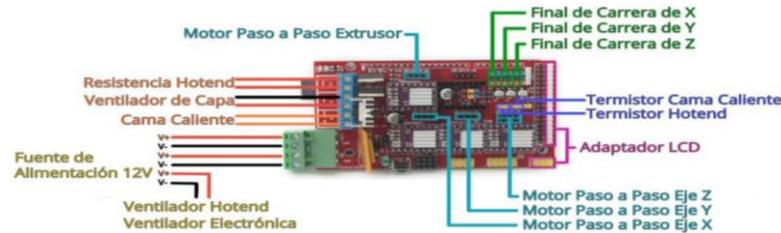


Figura 65. Conexiones Basicas Ramps

Fuente: Morales (2017)

En la figura 65 se muestran las conexiones básicas de una impresora 3D a la ramps, como se puede apreciar la ramps que se muestra en dicha figura es diferente a la versión 1.6 mostrada en versiones anteriores, cabe señalar que la versión que se muestra es la 1.4 y que las diferencias entre versiones de ramps no influyen en la distribución de sus pines si no en el cambio de conectores más seguros y el uso de disipadores de calor por lo tanto no representaría ningún inconveniente usar una versión diferente a la 1.6.

### Configuración de drivers A4988

Para configurar el motor en 1/16 de paso también conocido como “Sixteenth step” se debe tener en cuenta lo mencionado en la hoja de datos del driver, en la figura 64 se muestran el grupo de pines JK1, JK2, JK3, JK4 y JK5 esos pines serán los que ayudarán a configurar los pasos del motor.

En la figura 66 se muestra la tabla de configuraciones del driver donde se puede apreciar que se puede configurar hasta en 5 resoluciones de pasos, para esta investigación se usara la más alta disponible con este driver, se debe mencionar que los drivers TMC tienen una resolución de hasta 1/250, pero su costo es demasiado elevado y el A4988 cumple con lo requerido en la investigación sin problema alguno. Para poner los drivers en configuración de 1/16 de paso según la figura 64 se debe poner MS1, MS2 y MS3 en High, para ello se ponen puentes jumper en los pines de JK1, JK2, JK3, JK4 y JK5.

Table 1: Microstepping Resolution Truth Table

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

Figura 66. Tabla de configuración de pasos

Fuente: Allegro Microsystems (2021)

Una vez configurado el driver en 1/16 de paso se procede a calcular el Vref que se requiere para los motores Nema 17, usando la formula descrita en el capítulo II, la corriente de los motores usados es de 1.7 amp, la resistencia de los driver es R10 lo que equivale a  $0.1\Omega$  por lo tanto de acuerdo a la formula se tendría que el voltaje que se requiere para el correcto funcionamiento de motores es 1.36v a este valor se le extrae el 40% esto se debe a que al tener 1/16 de paso la hoja de datos indica que se debe bajar el Vref al 40% para evitar el recalentamiento de las bobinas del motor PAP, después de hacer los cálculos respectivos se tiene que el Vref es de 0.55v, este valor se debe configurar con el potenciómetro de los drivers como se muestra en la figura 67.

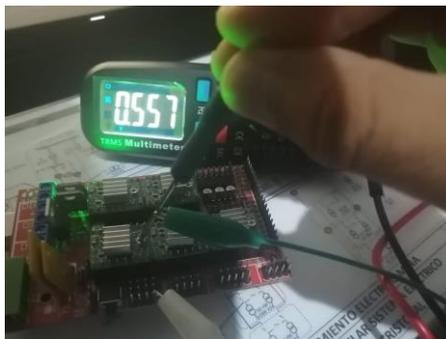


Figura 67. Configuración de driver A4988

### Conexión de electroimán y Mini fresadora

Ya se sabe cómo hacer las conexiones básicas para una impresora 3D, el siguiente problema a resolver es la activación del electroimán, la forma de cómo hacerlo se explicara en el siguiente punto sobre el desarrollo del sistema de control, pero para poder ejecutar estas

medidas se requiere tener la electrónica adecuada por lo cual se plantea la activación del electroimán mediante un switch controlado por un PIN de salida de la tarjeta de control en este caso un PIN de salida de la ramps 1.6, el dispositivo electrónico que cumple con este requerimiento es un módulo relé en el mercado existen muchos modelos disponibles, sin embargo como no se requiere conectar equipos de altas potencia el módulo relé mostrado en la figura 68 Es adecuado para las tareas que se requieren.

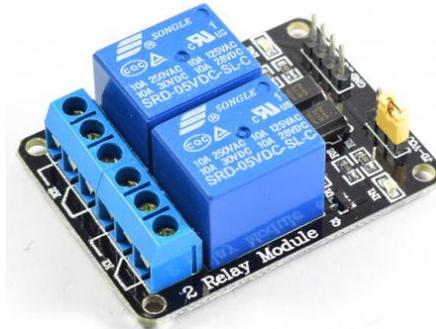


Figura 68. Modulo Relé – 2 canales

Fuente: Naylamp Mechatronics (2021)

El módulo relé mostrado es un módulo de dos canales, se usara un canal para el electroimán y otro canal para la activación del motor de la fresadora, para conectarse a la ramps se requieren dos cables de alimentación +5v y GND, con dos cables de control C1 y C2 para activar el canal 1 y 2 respectivamente, se debe tener en cuenta que la bobina de activación debe ser de 5V que es lo que suministra la ramps 1.6, debido a que en el mercado también existen módulos relé similares pero con bobina de 12V lo cual no sería el indicado para esta aplicación.

Para saber que pines se usaran se revisa el PINOUT de la ramps 1.6 mostrado en la figura 68 se pueden usar el grupo de PINES de SERVOS, AUX01, AUX02 Y AUX03, por experiencia del investigador se usa los pines AUX01 asignando D1 para el electroimán (C1) y D8 para la minifresadora (C2).

La conexión básica de un módulo relé hacia la línea de 12v se muestra en la figura 69. En la cual se aprecia como solo se interrumpe una línea que es la que va conectada al relé y la otra línea va directo a la otra fase de la fuente, en este caso se debe tener en cuenta

que el módulo Relé cuenta con dos contactos uno NA y otro NO para fines de mejor funcionamiento se conectan al contacto NA.

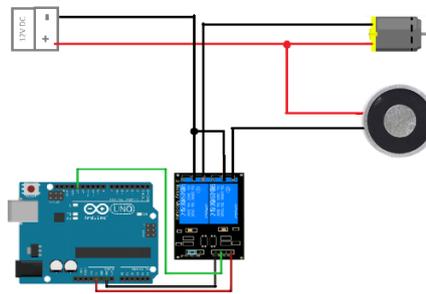


Figura 69. Conexiones módulo relé

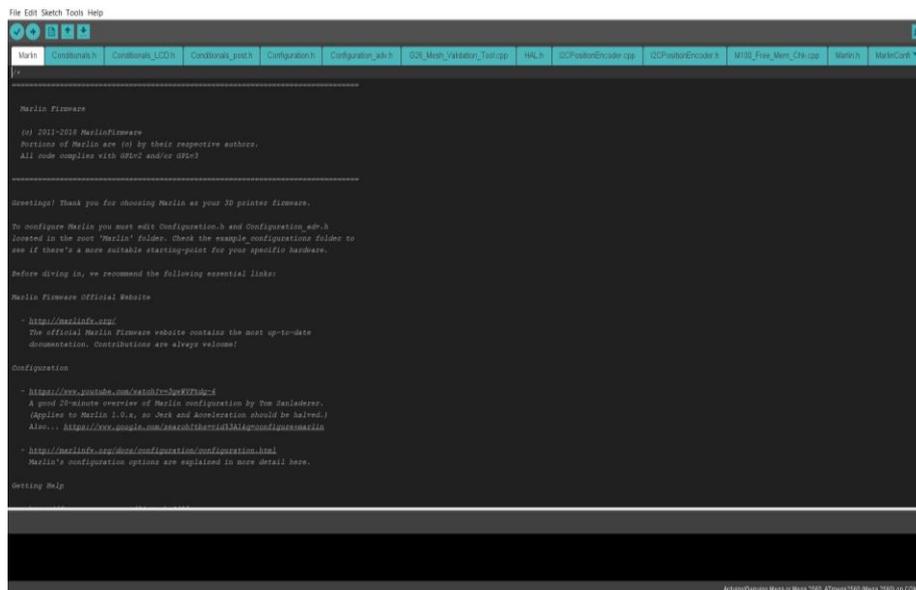
### **Discusión de los resultados de sistema electrotécnico**

Morales (2017) en su investigación "Desarrollo de un controlador básico de impresión 3D", explica las formas de usar los motores unipolares y bipolares concluyendo que es más factible el uso de motores bipolares en este caso los Nema 17 los cuales son los seleccionados en la tabla 3, luego se procede a seleccionar la placa controladora en esta selección no se tomó en cuenta las placas MATCH3 o equivalentes esto debido a que su uso es netamente industrial, la placa seleccionada fue la placa Arduino mega 2560 + shield ramps 1.6, Morales (2017) en su investigación "Desarrollo de un controlador básico de impresión 3D" explica a detalle las ventajas de usar una placa Arduino y las condiciones a tener en cuenta para un adecuado uso. Riquelme (2010) en su investigación "Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas" explica el funcionamiento y ventajas del uso de los drivers A4988. La selección de los demás componentes está basada en su compatibilidad con la shield ramps y los componentes para electrónica de una impresora 3D de manera adicional se añadió un módulo relé de 2 canales para facilitar el funcionamiento del electroimán y motor de fresado el cual al ser controlado por pines de la placa controladora ejecuto de manera efectiva las funciones de activar y desactivar las funciones requeridas. La conexión de todos los componentes seleccionados permitió ejecutar movimientos en cada eje, selección de cabezales sin tener inconvenientes.

## SISTEMA DE CONTROL

Para descargar el firmware es necesario ir a la siguiente dirección web <https://github.com/MarlinFirmware/Configurations/tree/release-1.1.9>, aquí se va a la opción CODE donde se despliega un menú y se selecciona la opción “download ZIP” esto descargara un archivo comprimido el cual contiene todo el firmware Marlin, una vez descargado se descomprime y se accede al archivo marlin.ino se ejecuta y nos muestra una ventana tal y como se muestra en la figura 70.

Para la configuración de este firmware se requiere la modificación de varios parámetros los cuales se van a ajustar a de acuerdo a cada máquina, esta investigación no tiene como fin explicar la configuración básica de Marlin para impresoras 3D para ello se puede recurrir a su página oficial, lo que se explicará son las configuraciones que no son comunes para la impresión 3D y que para su uso requiere más investigación y sobre todo muchas pruebas para poder ser ejecutadas sin problemas.



```
File Edit Sketch Tools Help
Marlin Customers.h Customers_LCD.h Customers_post.h Configurations Configuration_adv.h G29_Mesh_Valveless_Test.cpp HAL.h G29_PosterEncoder.cpp G29_PosterEncoder.h M301_Free_Wheel_Disk.cpp Marlin.h MarlinCore.h

Marlin Firmware
© 2011-2014 MarlinFirmware
Portions of Marlin are © by their respective authors.
All code complies with GPLv2 and/or GPLv3

Greetings! Thank you for choosing Marlin as your 3D printer firmware.

To configure Marlin you must edit Configuration.h and Configuration_adv.h
located in the root 'Marlin' folder. Check the example_configurations folder to
see if there's a more suitable starting-point for your specific hardware.

Before diving in, we recommend the following essential links:

Marlin Firmware Official Website
- http://marlinfw.org/
The official Marlin Firmware website contains the most up-to-date
documentation. Contributions are always welcome!

Configuration
- https://www.youtube.com/watch?v=H7F7dK4
A good 10-minute overview of Marlin configuration by Tom Iacalderer.
(Applies to Marlin 1.0.x, so M24 and Acceleration should be halved.)
Also... https://www.youtube.com/watch?v=H7F7dK4

- http://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html
Marlin's configuration options are explained in more detail here.

Setting Help
```

Figura 70. Marlin en Arduino

Para configurar Marlin se va a la ventana de Configuration.h y Configuration\_adv.h, en estas dos ventanas existen una gran cantidad de opciones con las que se puede configurar una máquina 3D en las tablas 10 y 11 se puede encontrar las líneas de código que fueron modificadas para poder ejecutar sin problemas el firmware.

Tabla 10. Líneas de código Configuration.h

Nº DE LÍNEA IDE	LÍNEA DE CÓDIGO ORIGINAL	LÍNEA DE CÓDIGO MODIFICADA	FUNCIÓN
126	<code>#define BAUDRATE 115200</code>	<code>#define BAUDRATE 250000</code>	Definición de la velocidad de transmisión del puerto serial
134	<code>#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_4_EFF</code>	<code>#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB</code>	Definición de modo de operación de impresora
152	<code>#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 3.0</code>	<code>#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75</code>	Definición del diametro de filamento a utilizar
318	<code>#define TEMP_SENSOR_BED 0</code>	<code>#define TEMP_SENSOR_BED 1</code>	Activación del sensor de la cama caliente
457	<code>#define EXTRUDE_MINTEMP 170</code>	<code>#define EXTRUDE_MINTEMP 190</code>	Definir temperatura mínima para extruir.
494	<code>//#define COREXY</code>	<code>#define COREXY</code>	Activación de control core XY.
531	<code>#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false</code>	<code>#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true</code>	Activación de final de carrera en eje X.
532	<code>#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false</code>	<code>#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true</code>	Activación de final de carrera en eje Y

Tabla 10. Continuación

Nº DE LÍNEA IDE	LÍNEA DE CÓDIGO ORIGINAL	LÍNEA DE CÓDIGO MODIFICADA	FUNCIÓN
533	#define Z_MIN_ENDSTOP _INVERTING false	#define Z_MIN_ENDSTOP_INV ERTING true	Activación de final de carrera en eje Z
537	#define Z_MIN_PROBE_E NDSTOP_INVERTI NG false	#define Z_MIN_PROBE_ENDS TOP_INVERTING true	Activación de inversión de lógica del eje Z
553	/// define X_DRIVER_TYPE A4988	#define X_DRIVER_TYPE A4988	Activación y definición de tipo de driver de motor, eje X
554	/// define Y_DRIVER_TYPE A4988	#define Y_DRIVER_TYPE A4988	Activación y definición de tipo de driver de motor, eje Y
555	/// define Z_DRIVER_TYPE A4988	#define Z_DRIVER_TYPE A4988	Activación y definición de tipo de driver de motor, eje Z
559	/// define E0_DRIVER_TYPE A4988	#define E0_DRIVER_TYPE A4988	Activación y definición de tipo de driver de motor, eje Extrusor
611	#define DEFAULT_AXIS_ STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }	#define DEFAULT_AXIS_STEP S_PER_UNIT { 80, 80, 400, 92.5 }	Definición de pasos que se requieren para avanzar 1mm
618	#define DEFAULT_MAX_ FEEDRATE { 300, 300, 5, 25 }	#define DEFAULT_MAX_FEED RATE { 200, 200, 5, 25 }	Definición de máxima velocidad para los motores.

Tabla 10. Continuación

Nº DE LÍNEA IDE	LÍNEA DE CÓDIGO ORIGINAL	LÍNEA DE CÓDIGO MODIFICADA	FUNCIÓN
626	#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {3000,3000, 100,10000}	#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 300, 300, 100, 10000 }	Definición de máxima aceleración para los motores.
636	#define DEFAULT_ACCELERATION 3000	#define DEFAULT_ACCELERATION 1000	Definición de aceleración para movimientos de impresión.
637	#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000	#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 1000	Definición de aceleración para retracción de material.
638	#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 3000	#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 1000	Definición de aceleración para movimientos de no impresión.
834	#define DISABLE_X false	#define DISABLE_X true	Activación de deshabilitar motores cuando no esten operando, eje X.
835	#define DISABLE_Y false	#define DISABLE_Y true	Activación de deshabilitar motores cuando no esten operando, eje Y.
836	#define DISABLE_Z false	#define DISABLE_Z true	Activación de deshabilitar motores cuando no esten operando, eje Z.

Tabla 10. Continuación

Nº DE LÍNEA IDE	LÍNEA DE CÓDIGO ORIGINAL	LÍNEA DE CÓDIGO MODIFICADA	FUNCIÓN
842	<code>#define DISABLE_E false</code>	<code>#define DISABLE_E true</code>	Activación de deshabilitar motores cuando no esten operando, extrusor.
879	<code>#define X_BED_SIZE 200</code>	<code>#define X_BED_SIZE 450</code>	Definición de dimensión de recorrido de eje X.
880	<code>#define Y_BED_SIZE 200</code>	<code>#define Y_BED_SIZE 410</code>	Definición de dimensión de recorrido de eje Y.
888	<code>#define Z_MAX_POS 200</code>	<code>#define Z_MAX_POS 370</code>	Definición de dimensión de recorrido de eje Z.
1129	<code>/// MANUAL_X_HOME_POS 0</code>	<code>#define MANUAL_X_HOME_POS 0</code>	Definición de menú para realizar home en eje X.
1130	<code>/// MANUAL_Y_HOME_POS 0</code>	<code>#define MANUAL_Y_HOME_POS 0</code>	Definición de menú para realizar home en eje Y.
1131	<code>/// MANUAL_Z_HOME_POS 0</code>	<code>#define MANUAL_Z_HOME_POS 0</code>	Definición de menú para realizar home en eje Z.
1394	<code>#define LCD_LANGUAGE en</code>	<code>#define LCD_LANGUAGE es</code>	Definición de lenguaje de interfaz a español.
1444	<code>/// SD_CHECK_AND_RETRY</code>	<code>#define SD_CHECK_AND_RETRY</code>	Activación para confirmación de tarjeta SD en pantalla
1453	<code>/// SLIM_LCD_MENUS</code>	<code>#define SLIM_LCD_MENUS</code>	Activación de visualización de menús en pantalla LCD.

Tabla 10. Continuación

Nº DE LÍNEA IDE	LÍNEA DE CÓDIGO ORIGINAL	LÍNEA DE CÓDIGO MODIFICADA	FUNCIÓN
1467	<code>//#define ENCODER_STEPS _PER_MENU_ITE M 1</code>	<code>#define ENCODER_STEPS_PE R_MENU_ITEM 1</code>	Definición de vueltas del encoder de pantalla para cambiar de menú
1530	<code>//#define REPRAP_DISCOU NT_SMART_CONT ROLLER</code>	<code>#define REPRAP_DISCOUNT_ SMART_CONTROLLE R</code>	Definición de tipo de pantalla a utilizar

Tabla 11. Líneas de código Configuration\_adv.h

223	<code>//#define FAN_MIN_PWM 50</code>	<code>#define FAN_MIN_PWM 0</code>	Activación de pin PWM del Fan que será usado para Láser.
224	<code>//#define FAN_MAX_PWM 128</code>	<code>#define FAN_MAX_PWM 255</code>	Activación de pin PWM del Fan que será usado para Láser.
325	<code>//#define Z_DUAL_STEPPE R_DRIVERS</code>	<code>#define Z_DUAL_STEPPER_DRIV ERS</code>	Activación de eje de clonación de eje Z para dos motores.
1416	<code>//#define SPINDLE_LASER_ ENABLE</code>	<code>#define SPINDLE_LASER_ENABL E</code>	Activación de soporte de para control de láser.

Una vez compilado el firmware y cargado al Arduino se pueden iniciar las pruebas de movimientos en los diferentes ejes, para esto se puede hacer desde la interfaz HMI o desde la PC usando un cable conectado a Arduino y con un programa de generación de código para impresión 3D.

En el anexo 03, se puede apreciar un diagrama de árbol de los menús de la pantalla HMI que están disponibles, Marlin da la opción de cambiar al lenguaje español los menús, pero se recomienda usar en inglés debido a que los nombres de las opciones son similares a la línea de código con la que se encuentra, esto ayudará a una mejor identificación dentro de todo el código en caso se requiera hacer una modificación de estas opciones, se recomienda solo usar las opciones que realmente se usaran en la máquina ya que el tener todas solo recargaría la memoria del microcontrolador lo cual podría llevar a algún error al momento de la lectura de la tarjeta de memoria SD.

Por ejemplo, la dirección a seguir para mover 1mm en el eje X sería `Main_menu // Prepare // Move_axis // Move_1mm // Move eje X`, con esto solo se movería la perilla de la pantalla y empezara a realizar los movimientos de 1mm de acuerdo a lo que se requiera.

Como Marlin está basado en Sprinter y a su vez Sprinter es basado en GRBL, Marlin puede ejecutar código de máquina CNC sin problemas lo cual da solución a sistema de control para las 3 funciones que se requieren, el uso del láser con Marlin se detalla la tabla 11 indicando las líneas de código a modificar.

### **Código G y M en Marlin**

Las instrucciones de código G son por lo general estandarizadas para movimientos lineales o circulares tales como los códigos G90 y G91 o el usar la letra S para definir la velocidad del spindle en una máquina CNC, las instrucciones de códigos M están ligadas a la ejecución de activación y desactivación de los componentes electromecánicos de las máquinas CNC.

En este punto se busca explicar el funcionamiento de los códigos G y M necesarios para ejecutar las tareas que se requieren, para ello es necesario tener un conocimiento básico de cómo es que Marlin indica al microcontrolador la ejecución de los códigos G, Morales (2017) explica que para que Arduino pueda interpretar los códigos G, es necesario primero el direccionamiento de los pines para el control de los motores PAP, seguido de esto se debe configurar los pines que van a controlar los diferentes dispositivos que actuadores tales como el extrusor, la cama caliente, el spindle, etc. También detalla el proceso para la ejecución, primero debe identificar si es una función G o M luego de eso leer el número de la función,

luego se procede la interpretación del número de código y direccionar los PWM necesarios a los pines que corresponden la ejecución de la función.

Marlín es capaz de ejecutar 38 códigos G los cuales son detallados en el anexo 04 y también soporta la ejecución de 192 códigos M los cuales se detallan en el anexo 05, en este punto se dará una explicación breve de los códigos usados para selección de cabezales, Marlín cuenta con el código especial T, el cual se usa para el cambio de herramientas sin embargo el uso de este código resulta muy tedioso en la configuración debido a que las líneas a modificar son muchas de acuerdo a la característica de cada máquina, para dar solución a eso se propone un conjunto de sentencias que se pueden usar en cualquier máquina solo indicando la posición del cabezal, es decir que si en un futuro se requiere hacer el cambio en la estructura de la máquina bastará con solo tener los puntos exactos de ubicación de los cabezales para poder ejecutar la función necesidad de modificar internamente el firmware.

Comando M42, este comando es un comando muy poco conocido en Marlín sin embargo su uso es muy provechoso para control de dispositivos externos a los comunes usados en impresión 3D, este comando permite modificar el estado de un PIN, como se explicó en puntos anteriores la Ramps cuenta con pines libres que se pueden usar para diferentes funciones de acuerdo a lo que se requiera, la forma adecuada de ejecutarlo es la siguiente M42 PXX SXXX, donde P sirve para indicar el número de PIN a definir de estado y S define el PWM para ese PIN de no ser un PIN PWM solo se usan los valores extremos 0 y 255 según se requiera. El comando M42 se usará para el control del electroimán y spindle que están direccionados en los pines P57 y P58 respectivamente.

Comando G4, al igual que M42 es un comando muy poco conocido en Marlín, este se usa para generar un Delay antes de ejecutar el siguiente código G, se requiere usar este código para establecer un retardo en las lecturas del buffer y evitar que se activen el electroimán o spindle antes de lo que se requiere, para poder ejecutarlo se hace de la siguiente manera, G4 SXX o G4 PXX donde S o P se usan para definir el tiempo de retardo donde S se usa para definir en segundos y P se usa para definir tiempo en milisegundos.

Comando G28, Este es un comando muy conocido ya que se usa para buscar el punto de origen de la máquina su uso tiene 4 variaciones, Solo G28 lo cual efectúa un punto cero

en los 3 ejes, G28 X0 solo el punto cero en el eje X, G28 Y0 solo el punto cero en el eje Y y G28 Z0 solo el punto cero en el eje Z, también se puede usar para llevar solo dos ejes al origen señalando cuales se requieren.

Comando G0, Este comando es de los principales en Marlín ya que se usa para movimientos lineales sin extrusión es decir se ejecutan a la máxima velocidad o también permite definir la velocidad a la que se requiere siempre y cuando no exceda la velocidad máxima configurada en Marlín, este comando nos permite indicar la posición del electroimán o del cabezal en las coordenadas que se requieren, su forma correcta de usarla es G0 Xxx, G0 Yxx, G0 Zxx, o se pueden hacer variaciones de dos ejes según se requiera, aunque no es necesario también se puede usar la letra F para definir la velocidad del movimiento por ejemplo G0 X233 F50, indica que el cabezal debe moverse en el eje X al punto 233mm a una velocidad de 50mm/s.

▪ **Secuencia de cambio de cabezales.**

En las siguientes líneas se aprecia una lista de códigos G y códigos M, este grupo de códigos es el que se ha probado en la selección de cabezales y ha funcionado de manera adecuada.

- Secuencia de selección de cabezal  
M42 Pxx S255; Asegurar la desactivación del electroimán.  
G28 Y0; Punto cero en Y.  
G28 X0; Punto cero en X.  
G0 Z50; Ubicación de Z a una altura adecuada para el movimiento libre del cabezal,  
G0 Xxx; Punto de ubicación de cabezal en X.  
G0 Yxx; Punto de ubicación de cabezal en Y.  
G4 S2; Espera de 2 segundos.  
M42 Pxx S0; Activación de electroimán.  
G4 S2; Espera de 2 segundos,  
G28 Y0; Punto cero en Y.  
G28 X0; Punto cero en X.
- Secuencia de parqueo de cabezal  
G0 Xxx; Ubicación del cabezal en X.  
G0 Yxx; Ubicación del cabezal en Y.

- G4 S2; Espera de 2 segundos.
- M42 P57 S255; Desactivación de electroimán.
- G4 S1; Espera de 2 Segundos.
- G28 Y0; Punto cero en Y.
- G28 X0; Punto cero en X.
- G28 Z0; Punto cero en Z.

## Impresión 3D

### Software de impresión 3D

En la figura 71 se muestra la pantalla de configuraciones iniciales de la máquina, este punto es donde se considerará las líneas de código G, en primer lugar se procede a configurar las dimensiones generales de la máquina, para este caso se van a considerar los recorridos totales de los ejes X, Y y Z, el eje X tiene un recorrido total de 450mm, el eje Y un recorrido total de 410mm y el eje Z un recorrido total de 400mm, las configuraciones de extrusor se van a considerar como mínimos en 0 y máximos en los límites máximos del recorrido de los ejes.



Figura 71. Configuraciones iniciales de impresora

Fuente: Cura ultimaker (2021)

Para configurar la selección del cabezal se debe modificar los cuadros de “iniciar G-code” y “finalizar G-code” introduciendo los códigos G explicados anteriormente. En la figura 72. se muestra en los puntos donde se introduce el código G necesario para ejecutar la selección del cabezal, en el cuadro de “Iniciar GCode” se inserta el código G antes de las

líneas precargadas para no alterar el proceso inicial de la preparación de la impresión, se debe tener en cuenta la modificación de los puntos G1 para X y Y que serían 70.1mm y 200mm respectivamente esto debido a que la cama caliente es mucho más pequeña que el área de recorrido en los ejes X e Y, esto nos da la posibilidad usar una cama caliente de mayor tamaño y solo modificar las coordenadas en la generación de código G sin mover configuraciones en el firmware. El cabezal de impresión 3D se encuentra en los puntos X232 Y 360.

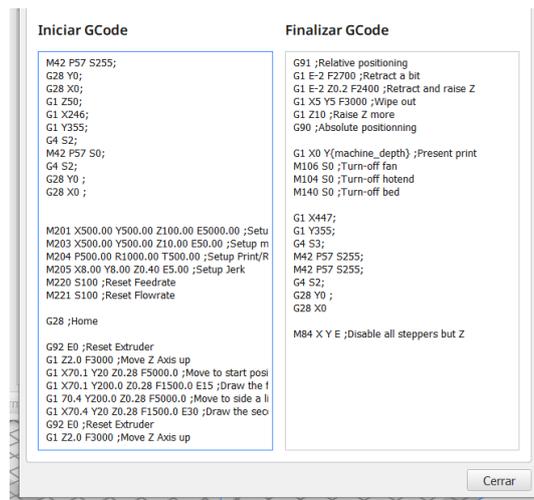


Figura 72. Configuración de código G

Fuente: Cura Ultimaker (2021)

De la misma forma en el cuadro de “Finalizar Gcode” se introduce el código G necesario para retornar el cabezal a su posición inicial, este código se introduce antes de la última línea M84 que es el comando que da la orden de desactivar los motores de todos los ejes y del extrusor.

### ▪ Pruebas de impresión 3D

Para proceder con las pruebas de la máquina se debe realizarla calibración de la altura de la plataforma de trabajo en este punto para regular la altura de la misma se hace uso de un final de carrera y su respectivo soporte el cual se muestra en el anexo 02.

De manera manual se hace la selección del cabezal y se regula el nivel de la plataforma moviendo el final de carrera hasta el punto adecuado, para el cabezal modelado la altura de este final de carrera fue de 23.4 mm desde la base de la unión posterior.

Luego de esto se procede a seleccionar el archivo STL para la impresión ejecutándose el software de generación de código G el cual debe estar previamente configurado según lo explicado, se carga el archivo y se configura de acuerdo a los parámetros de impresión que se requiera, se genera el código G el cual se guarda en una tarjeta SD.

Se retira la tarjeta y se lleva a la máquina se selecciona el archivo y empieza a ejecutar realizando la selección de cabezal de impresión 3D luego ejecuta los códigos G de la pieza requerida y finalmente regresa el cabezal a su lugar. En la figura 3.49 se muestra de manera resumida los pasos a seguir para poder ejecutar la función de impresión 3D.

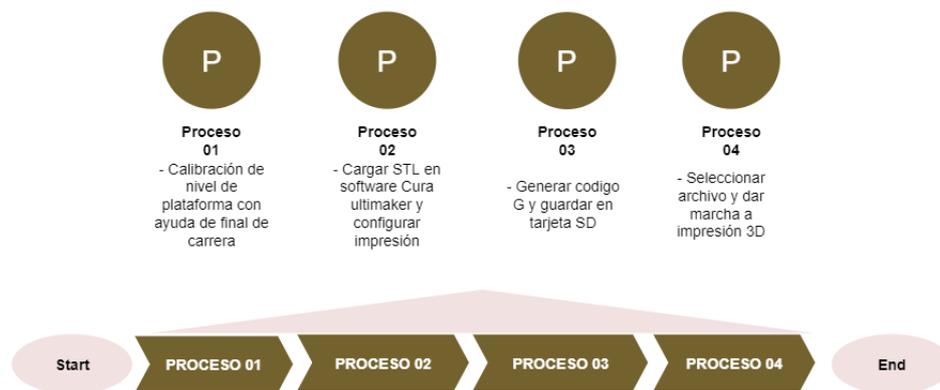


Figura 73. Configuración de código G

A continuación, se muestra las pruebas realizadas de impresión 3D, se procede con la impresión de un cubo de dimensiones de 20x20x20 mm<sup>3</sup> el cual se procede a cargar en el software cura ultimaker, se procede a configurar la impresión a una velocidad de 120 mm/s, 20% de relleno y una boquilla de 0.4 mm tal y como se muestra en la figura 74. El código G generado se guarda en la tarjeta SD y se realizan las pruebas requeridas

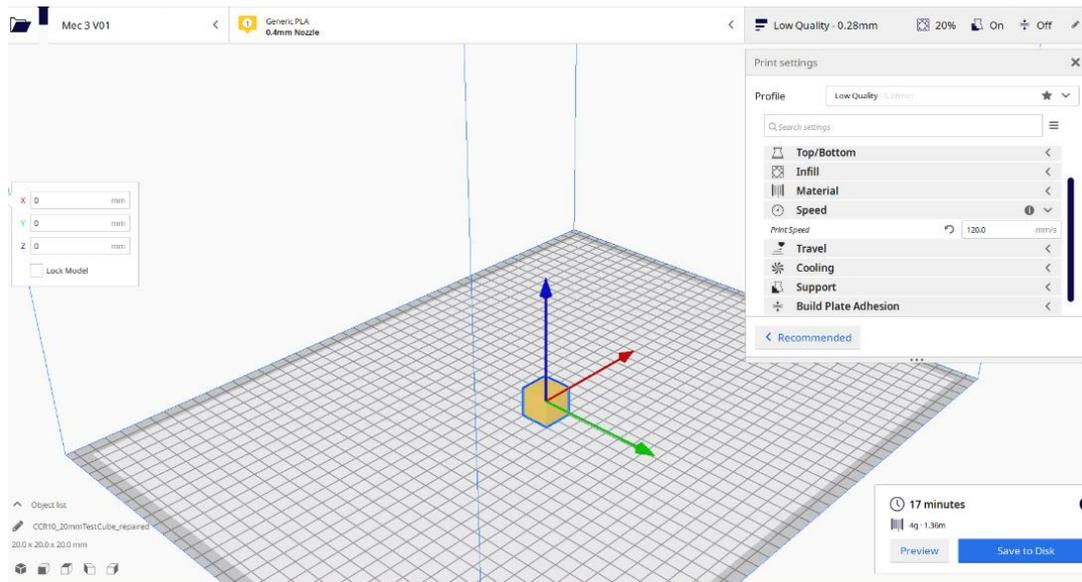


Figura 74. Configuraciones de impresión 3D

Para obtener los parámetros adecuados de impresión de la máquina en la figura 75 se observa de izquierda a derecha las pruebas realizadas hasta llegar a los resultados requeridos.



Figura 75. Pruebas de impresión 3D

#### ▪ **Discusión de resultados – impresión 3D**

El proceso de impresión 3D es un proceso que requiere de muchas pruebas para poder llegar a los parámetros que se requieren, estos parámetros varían en todas las máquinas debido al tipo de extrusor, material, potencia de ventilador, etc. Madrid (2021) en su trabajo de investigación docente “Diseñar e implementar una impresora 3D con configuración delta para el laboratorio de Mecatrónica de la UNP – PERÚ – 2019” indica sus parámetros de impresión en 190°C de temperatura de extrusión velocidad de impresión de 30 mm/s, capa de impresión de 0.43 mm y una retracción de 4 mm a 40 mm/s. las pruebas realizadas para la impresión 3D iniciaron en 120 mm/s, temperatura de 200°C, capa de impresión de 0.28

mm y sin retracción, luego de realizar las pruebas se llegó a la conclusión que se debía variar la velocidad al 55 % de la velocidad inicial es decir 66 mm/s y una temperatura de impresión de 220°C la figura 76 indica las diferentes temperaturas trabajadas hasta llegar lo óptimo y se aprecia la mejora en el acabado de la pieza.

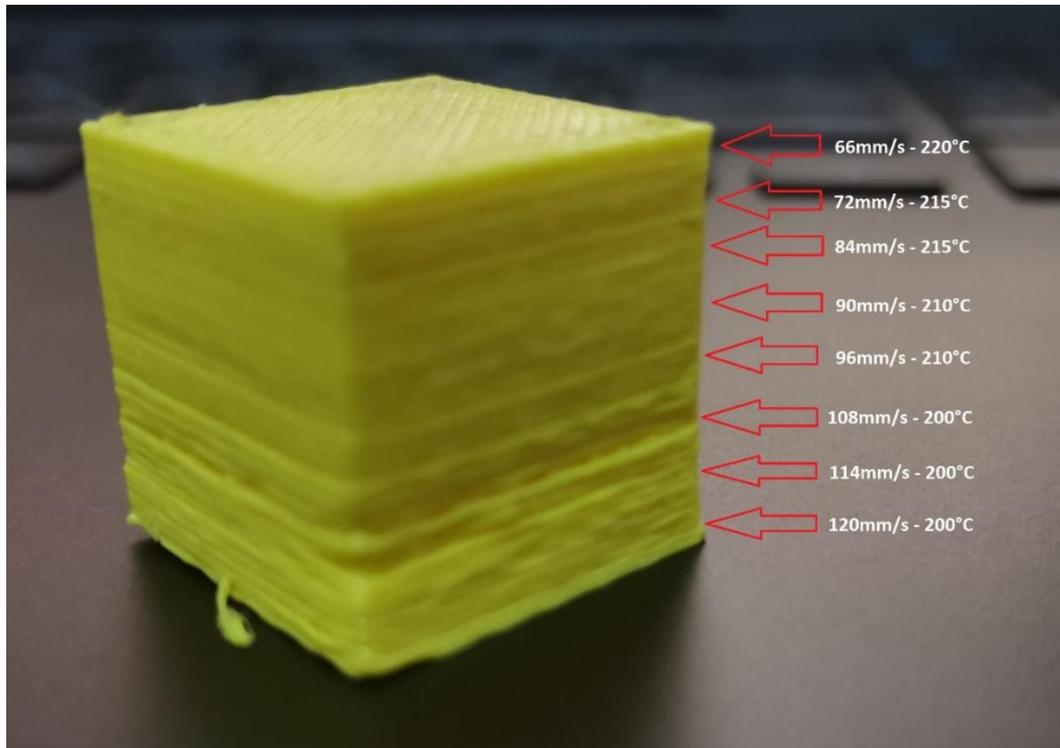


Figura 76. Pruebas de velocidad de impresión 3D

Respecto a la precisión de la máquina de acuerdo a las pruebas realizadas se tomaron las medidas en los diferentes ejes del cubo realizado, según lo modelado y cargado en el software Cura como se muestra en la figura 4.50 es un cubo de 20x20x20 mm<sup>3</sup>. De acuerdo a las medidas tomadas se obtuvo en el eje X 20 mm como se muestra en la figura 77, en el eje Y 20 mm como se muestra en la figura 78 y de forma final para el eje Z se obtuvo una medida de 20 mm que se muestra en la figura 79, con esto se corrobora que la mecánica está bien implementada y el sistema de control fue configurado de manera adecuada para realizar lo requerido, lo obtenido en estas pruebas es base fundamental en precisión para las otras dos funciones.

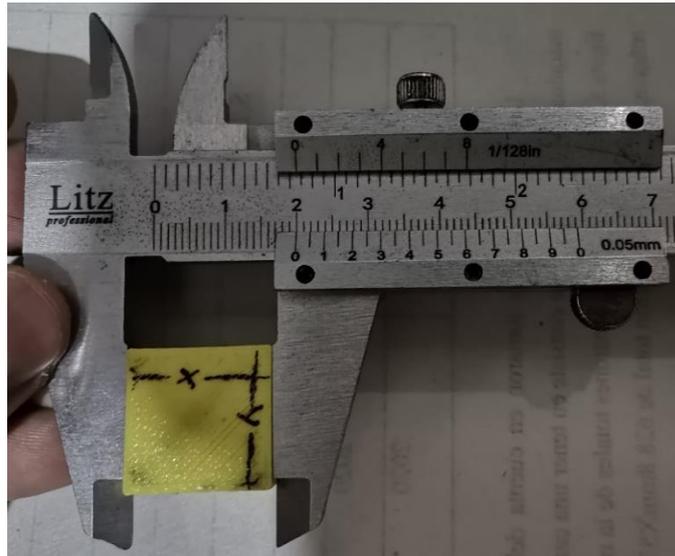


Figura 77. Medida en eje X

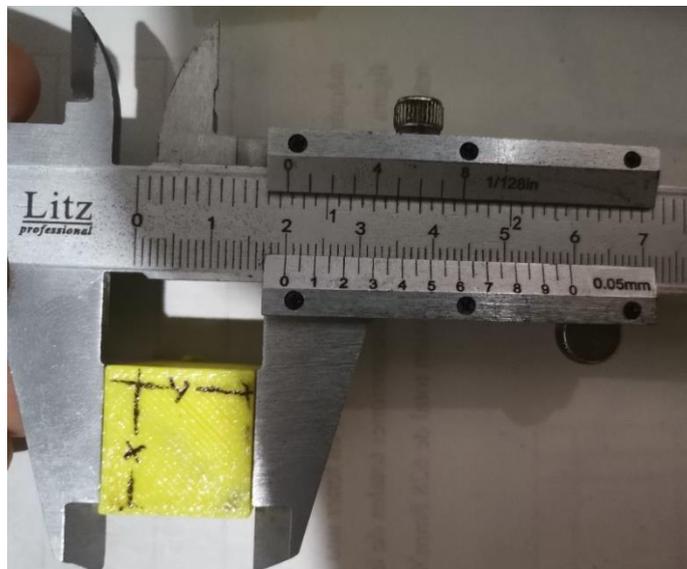


Figura 78. Medida en eje X



Figura 79. Medida en el eje Z

## Maquinado láser

### ▪ Software de maquinado láser

La versión de GRBL a usar es la versión 3.8.0 en este software su configuración es más sencilla solo se accede al menú GRBL//Settings y se muestra la ventana que se puede apreciar en la figura 80.

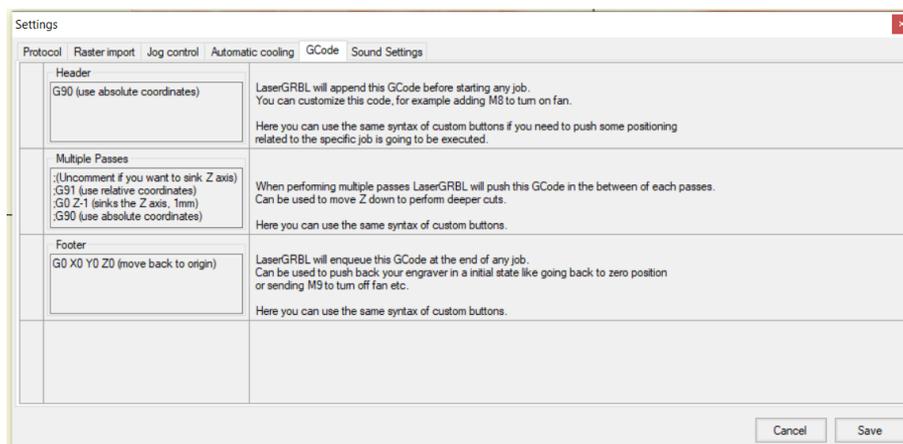


Figura 80. Configuraciones iniciales de Código G - GRBL Laser

Fuente: LaserGRBL (2021)

En la pestaña de “GCode” es donde podremos introducir el código G necesario para poder ejecutar la selección del cabezal láser, la primera parte en el cuadro de “Header” y la

parte final en el cuadro de “Footer”, a diferencia de la impresión 3D en el láser GRBL no se tiene muchas líneas de código G previas al inicio de los movimientos de la máquina.

En la figura 81 se muestra las líneas de código G agregadas a los cuadros respectivos, como se puede apreciar las coordenadas para la ubicación del cabezal láser es en X410 y Y351, para tener una buena ejecución se pueden agregar códigos G como M84 para desactivación de motores.

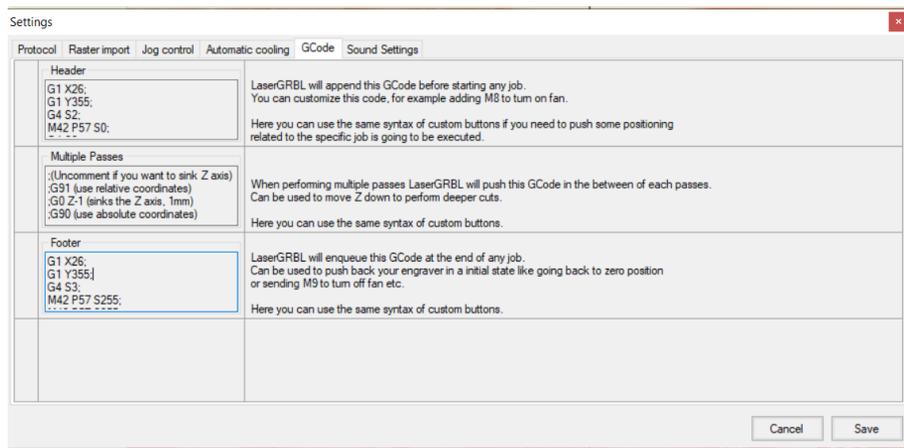


Figura 81. Configuración de código G - Corte Láser

Fuente: LaserGRBL (2021)

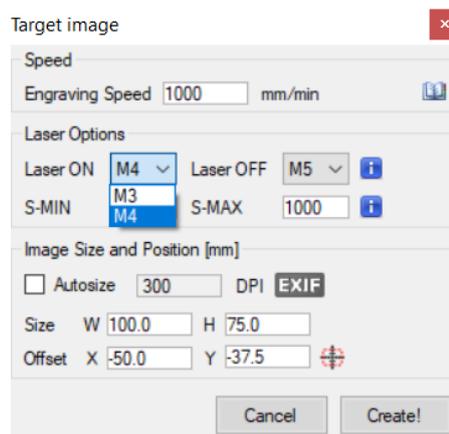


Figura 82. Selección de código M3

Fuente: LaserGRBL (2021)

Para la función de corte láser existen los códigos M3 y M5 que son para encender y apagar el láser de acuerdo lo que requiera el contorno a cortar, pero GRBL laser cuenta con

el código M4 para encender de forma predeterminada, para que Marlín lo pueda reconocer se debe considerar el código M3, esto se debe configurar al momento de generar el código G, en la figura 82 se muestra donde se debe configurar ese código y poder ejecutar sin problemas la función de la máquina.

#### ▪ Pruebas de Láser

A diferencia del proceso de impresión 3D para esta función no se requiere calibración previa de altura, lo que se debe realizar es un ajuste del foco de láser para concentrar la intensidad adecuada para la altura configurada, esta calibración se realiza de forma manual y depende del tipo de lente y del tipo de láser a ser utilizado.

Para el proceso se procede a cargar la imagen a generar código G en el programa Laser GRBL. Las únicas configuraciones que se deben hacer son las indicadas anteriormente, la velocidad va a depender de lo que se requiere y en general se puede usar de guía lo indicado por el programa y que se muestra en el anexo 01.

El código G generado se guarda en la tarjeta SD la cual se inserta en la máquina y se da marcha al proceso de lo que se requiere, la ubicación del material sobre el cual se va a trabajar se debe ubicar en la esquina más cerca al punto cero de la máquina, la figura 83 muestra de forma resumida el proceso de trabajos con láser.

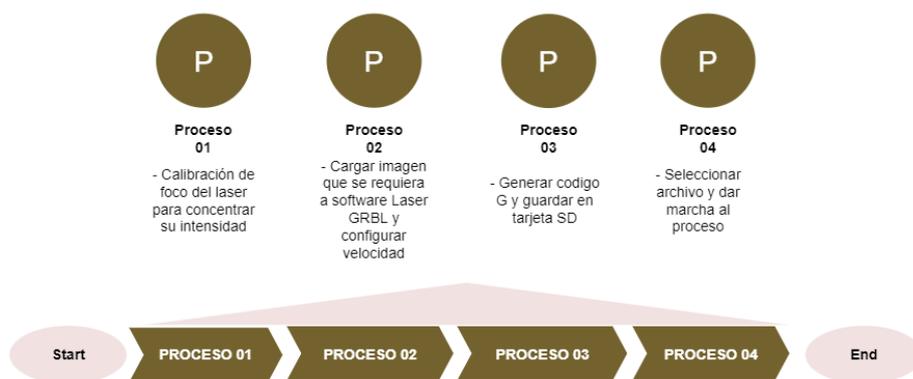


Figura 83. Proceso de corte y grabado láser

A continuación, se muestran las pruebas realizadas para este proceso se utilizó una imagen tipo logo la cual fue cargada en el software Láser GRBL tal y como se muestra en la figura 84 con esto se genera el código G para las pruebas respectivas.



Figura 84. Imagen de prueba Láser

Se ejecuta el código generado y se obtiene como resultado lo mostrado en la figura 85 el material utilizado para esta prueba fue MDF y se realizó respetando las velocidades de lo indicado en el anexo 01.

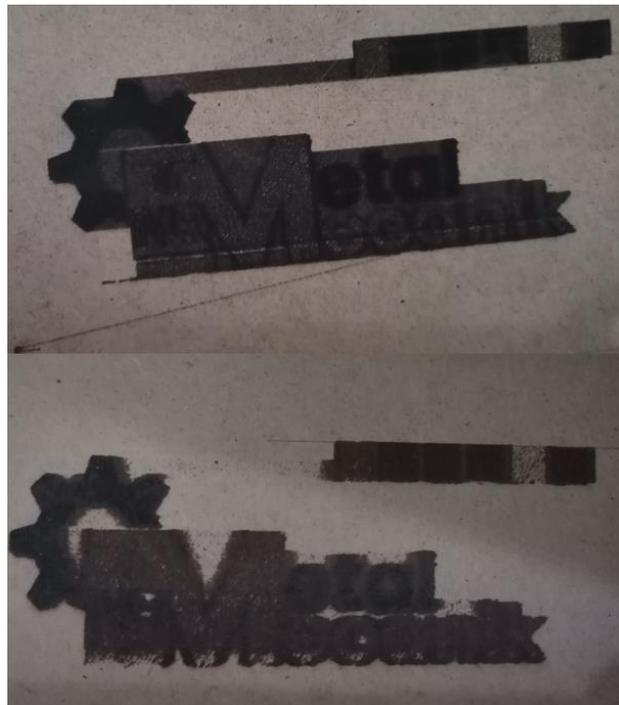


Figura 85. Pruebas de laser

## ▪ **Discusión de resultados de Láser**

El proceso de corte o grabado laser al igual que la impresión 3d es un proceso que requiere de varias pruebas previas para llegar al punto óptimo en este caso regulando el lente focal para obtener la mayor concentración de potencia a la altura del cero del eje Z, Pérez (2015) en su investigación “Diseño de una cortadora laser CNC de CO<sup>2</sup> para acrílicos y madera” propone el uso de un láser de 50W de potencia de CO<sub>2</sub> la propuesta es viable pero requiere de un cuidado mucho más extremo al manipular el láser de CO<sub>2</sub>, debido a que las aplicaciones de proyectos no requieren cortes de materiales de elevado espesor el uso de un láser de 5W o 15W ejecuta sin problemas lo requerido de acuerdo a lo mencionado en el anexo 01, las pruebas ejecutadas se hicieron en grabado debido a que esto requiere un mayor control de pulsos y al realizar la imagen cargada en el software se puede corroborar que el control de encendido y apagado del láser es adecuado, la precisión de la máquina fue evidenciada en las pruebas de impresión 3D por lo cual no es necesario corroborarlo en esta función.

## Mini fresado de PCB

### ▪ **Software de mini fresado**

Se ejecuta el programa y en el menú “edit” se busca la opción de “preferences” esto abre una nueva pestaña en el programa, en esta ventana hay una gran cantidad de opciones de configuración, en este punto se selecciona la ventana “CNC-JOB”, la figura 86 muestra la ventana completa y los puntos donde se debe poner los códigos son en “prepend to G-Code” y “Append to G-Code”.

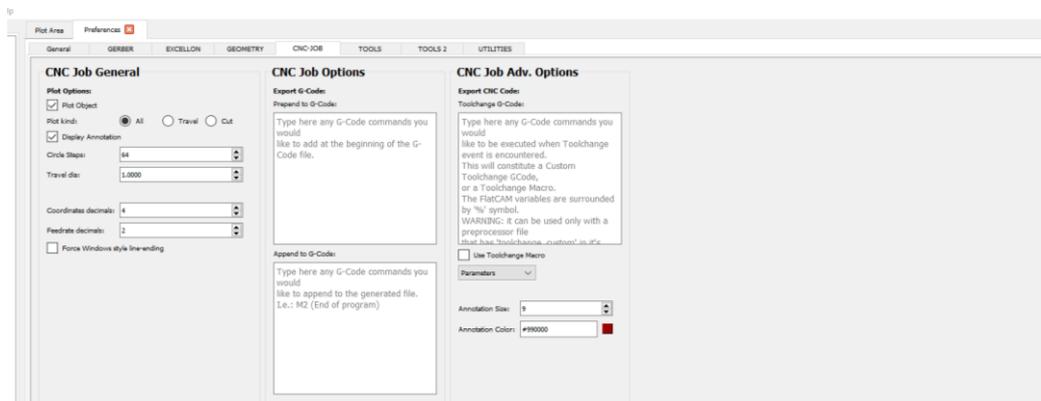


Figura 86. Configuraciones iniciales de código G – Mini Fresado

Fuente: FlatCAM (2021)

Las máquinas CNC de fresado en la industria por lo general tienen códigos G para el encendido y apagado del spindle, en algunos casos hasta permite la regulación del PWM pero para este caso se considerara el encendido a la máxima potencia por código M42 al coger el cabezal y el apagado también por el código M42 también el cual se ejecutara antes de que se inicie la última secuencia de códigos para dejar el cabezal en su punto de origen. El cabezal de mini fresado se encuentra en el punto X17 y Y360 y el pin al que se debe activar y desactivar para el spindle es el P58.

En de secuencia de cambio de cabezales se explica la secuencia para cambio de cabezal, sin embargo, para esta función se requiere añadir algunos códigos G para asegurar un buen funcionamiento de cabezal, para evitar ruptura de brocas y/o caída del mismo cabezal debido a que en el eje Z este cabezal es más grande que los otros dos las líneas de código G para el cambio de este cabezal se explican a continuación:

- Selección de cabezal

M42 P57 S255; Asegurar que el pin de electroimán este desactivado.

M42 P58 S255; Asegurar que el pin de mini fresa este desactivado.

G28 Y0; Punto cero en eje Y

G28 X0; Punto cero en eje X

G28 Z0; Punto cero en eje Z

G1 Z70; Bajar plataforma a un punto seguro para libre movimiento de cabezal.

G0 X17; Mover a coordenada de ubicación en X.

G0 Y360; Mover a coordenada de ubicación en Y.

G4 S2; Espera de dos segundos.

M42 P57 S0; Activar electroimán.

G4 S2; Espera de dos segundos.

G28 Y0; Punto cero en Y.

G28 X0; Punto cero en X.

G1 X77; Mover en X a punto inicial de plataforma.

M42 P58 S0; Activar mini fresa.

G1 Z37; Subir Plataforma hasta el punto exacto de broca.

G92 Z0; Fijar un nuevo Z0.

M211 S0; Desactivación de finales de carrera para poder ejecutar movimientos negativos en Z.

- Parqueo de cabezal

G4 S60; Espera de 60 segundos antes de iniciar la secuencia de parqueo de cabezal.

M211 S1; Activación de finales de carrera

G1 Z30; Bajar plataforma altura adecuada para poder hacer el parqueo de cabezal sin dificultad.

G1 X0; Punto cero en X.

G1 Y0; Punto cero en Y.

M42 P58 S255; Desactivar mini fresa.

G0 X17; Mover a coordenada de ubicación en X.

G0 Y360; Mover a coordenada de ubicación en Y.

G4 S3; Espera de 3 segundos.

M42 P57 S255; Desactivar electroimán.

G4 S2; Espera de 2 segundos

G28 Y0; Punto cero en Y.

G28 X0; Punto cero en X.

G28 Z0; Punto cero en Z.

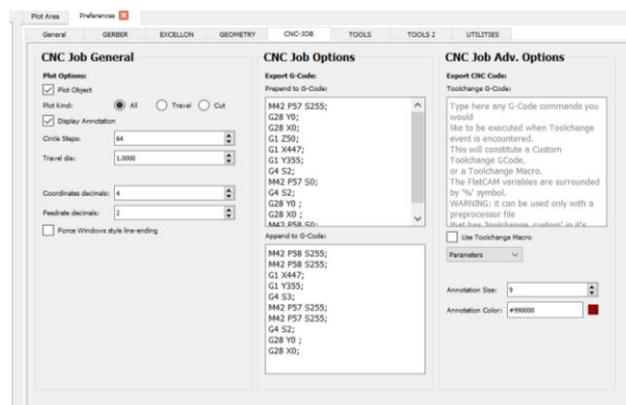


Figura 87. Configuración de código G - Mini fresado

Fuente: FlatCAM (2021)

Estas líneas de código G añade el código M211 el cual nos permite simular la no existencia de finales de carrera con la finalidad que el firmware permita hacer movimientos

negativos, lo explicado líneas arriba fue añadido al programa FlatCAM como se muestra en la figura 87.

#### ▪ **Pruebas de mini fresado.**

El proceso de mini fresado requiere un proceso más largo en la etapa de calibración debido a que las fresas utilizadas pueden hacer variar la altura adecuada para poner el eje Z en cero, para este proceso en cada uso de la función se debe calibrar el cero del eje Z de forma manual haciendo uso del control a través de la pantalla LCD y teniendo la tarjeta SD dos archivos de activación y desactivación del electroimán. Luego de hacer la calibración se ingresa el valor del eje Z en las líneas de selección de cabezal dentro del flatCAM.

Una vez calibrado el eje Z, se procede con la generación de código G en flatCAM, se debe tener en cuenta la adecuada configuración del mismo en cuanto a velocidades y diámetro de la broca que se está usando, se deben generar 3 archivos de código G, un archivo para pistas, otro archivo para agujeros y otro archivo para el perfilado de la placa.

Después de generados los archivos estos van a la tarjeta SD, antes de iniciar el proceso se debe ubicar la placa de cobre a fresar sobre un mdf y este sobre la plataforma con el fin de proteger la plataforma de posibles perforaciones se debe fijar esto en la esquina más cercana a los puntos cero de XY de la plataforma con pequeñas mordazas.

Una vez asegurada la placa de cobre se procede a dar marcha a los archivos en el orden en que fueron creados sin mover la placa hasta que haya terminado el último archivo, estos pasos se detallan en resumen en la figura 88.

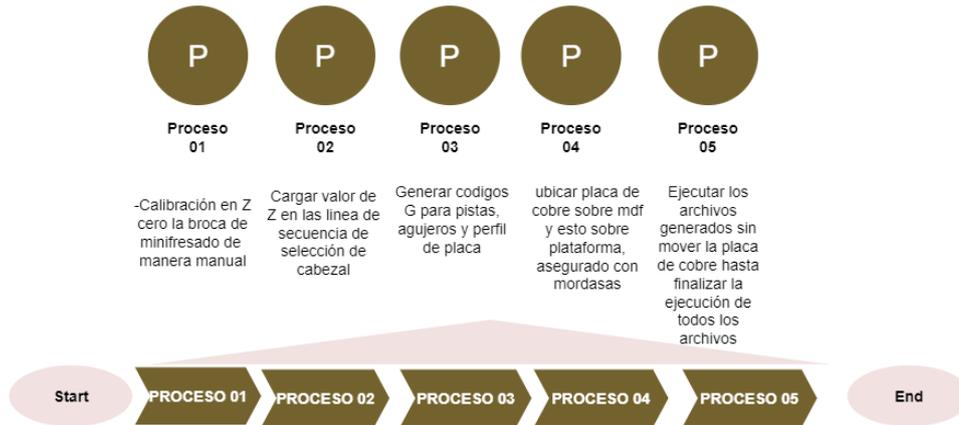


Figura 88. Proceso de mini fresado

Para las pruebas de mini fresado se usaron archivos Gerber generados en el software Eagle V9.1 estos se cargaron en FlatCAM para generar el código G necesario para las funciones con una broca de 1.4mm el modelo cargado se muestra en la figura 89.

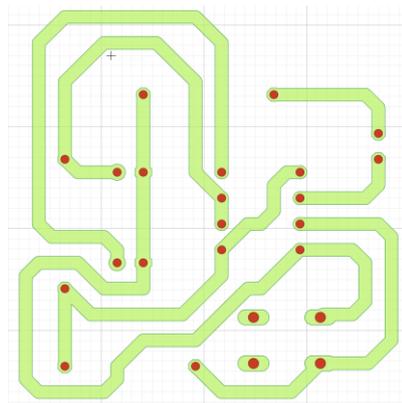


Figura 89. PCB para pruebas

Fuente FlatCAM (2021)

Se ejecutaron varias pruebas de este circuito para poder tener la velocidad óptima de operación para esta prueba en la figura 90 se muestra las pruebas de velocidad que se hicieron previa generación de códigos para pruebas.



Figura 90. Pruebas de velocidad.

Una vez ejecutadas las pruebas de velocidad se concluye que la velocidad óptima en XY es de 40mm/min con esta velocidad se procede a ejecutar la generación del código G del circuito propuesto obteniendo lo que se muestra en la figura 91 para validar que el circuito fue realizado con las medidas que se requieren en la figura 92 se muestra un dispositivo NM555 sobre la señal de las perforaciones donde se puede apreciar que encaja de manera adecuada con lo cual queda comprobado que la función de mini fresado mantiene la precisión que se mencionada en la función de impresión 3D.

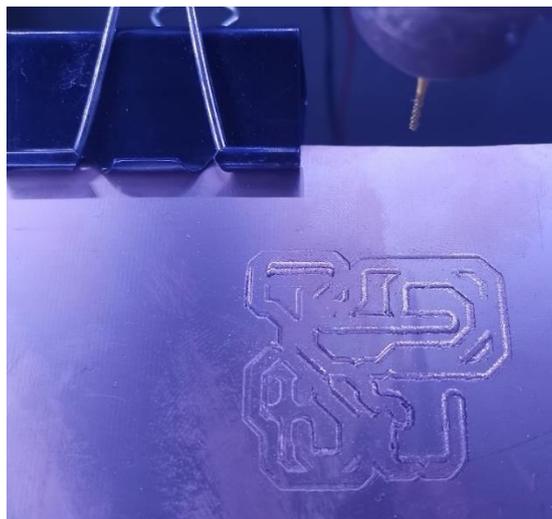


Figura 91. Prueba de fresado de circuito

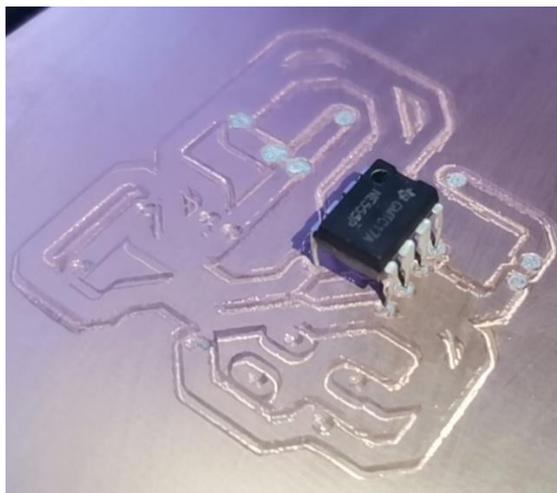


Figura 92. Prueba de agujeros

#### ▪ **Discusión de resultados de mini fresado**

El mecanizado de PCB es un proceso trabajoso, debido a la calibración el eje Z ya que la instalación de la herramienta denominada fresa se realiza de forma manual, trayendo como consecuencia la variación de la altura del eje Z, la cual en el programa al ejecutar el código G92 resetea el valor anterior y se fija la nueva altura, debido a esta dificultad se sugiere el uso de una herramienta tanto para el uso en agujeros y pistas sin tener que cambiarla en un solo proceso. Con el uso de FlatCAM se puede hacer el envío directo de los archivos gcode debido a que, en su base de datos cuenta con una gran mayoría de firmwares y el Marlin asegura una adecuada ejecución de los códigos. La figura 90 evidencia las pruebas de velocidad de acuerdo a lo mostrado en donde se sugiere que la velocidad adecuada para una broca de 1.4 mm sea de 40 mm/min obteniéndose un buen acabado la cual se muestra en la figura 91. Así como Riquelme (2010) hace uso del software PCB-GCODE sin embargo la generación de este código debe pasar por el programa GRBL y TinyG antes de ser enviada a la máquina y propone el uso de una fresa de 0.4 mm a una velocidad de 100 mm/min sin embargo indica que su acabado se puede mejorar.

## CONCLUSIONES

Para el modelado de la estructura mecánica se usó el software de diseño Solidworks, las dimensiones de trabajo de la máquina son 300 mm x 300 mm partiendo de área de trabajo de impresión 3D y de acuerdo al modelo de DBot- Core XY se usa perfiles tipo Vslot de 2040 y 2020, las uniones de la estructura cúbica y piezas para ensamble de transmisión fueron modeladas para ser impresas en 3D y permitan la unión de los perfil Vslot y el uso de ruedas slot tipo C para el movimiento, la trasmisión en los eje XY se realiza mediante correas GT2 y en el eje Z se usan husillo T8 de 4 mm de avance por vuelta, lo cabezales de la máquina multifuncional llevan en común una base para la sujeción por electroimán y una platina de acero de 50 mm x 50.8 mm x 3.2 mm, el cabezal de impresión 3D cuenta con un extrusor creality, un módulo láser para el cabezal láser y un motor con su Chuck para las brocas en el cabezal de mini fresado, los cabezales van ubicados sobre soportes vlost de 100 mm los cuales van ubicados en la parte superior del misma a una distancia de 86 mm entre los pares que soportan a los cabezales y 90 mm de separación entre cabezales. Las dimensiones finales de la máquina son de 628.8 mm x 573.25 mm x 617.75 mm y las dimensiones efectivas de trabajo son de 300 mm x 300 mm x 370 mm, haciendo uso de los componentes mencionados permite el movimiento y cambio de cabezales de manera eficiente.

El diseño del sistema electrotécnico usa una placa controladora es la Arduino Mega 2560 + Ramps1.6, drivers A4988 configurados a 0.55 V, una pantalla Rep Rap Discount Smart Controller de 128 x 64, fuente de poder swichting de 12v 20 amperios, un módulo relé de dos canales que va conectado a los pines P57 y P58 para el control del electroimán y mini fresadora, los motores usados para los movimientos son los nema 17, el cabezal de impresión 3D usa un extrusor creality de 12v, sensor de temperatura NT100K y un ventilador a 12v de dimensiones de 40 mm x 40 mm, el cabezal láser lleva un módulo láser de 5W de potencia y el cabezal de mini fresado usa un motor de 12v a 3300 RPM, estos dispositivos en conjunto con la estructura permiten un correcto funcionamiento de la misma.

El sistema de control está basado en el firmware Marlin el cual fue adaptado haciendo los respectivos cambios en los archivos Config.h y Config\_adv.h. Para que el control de cambio de cabezales: impresión 3D, Fresado de PCB's y maquinado Láser, a través de software de generación de código G se ejecuten dos rutinas de códigos basados

en códigos G0, G1, G4, G28, G92, M42 y M211. En el proceso de impresión 3D se usa el software Cura Ultimaker para la generación de código G con velocidad máxima de impresión de 66 mm/s, 220 °C de temperatura de impresión, capa de impresión de 0.28 mm sin retracción. Para realizar el maquinado laser se usa el software láser GRBL en el proceso de la generación de código G y las configuraciones proporcionadas por el mismo software para las diferentes operaciones. Para el proceso de mini fresado se usa el software FlatCAM para generación de código G y para el proceso de mini fresado se tiene en cuenta que para el uso de una broca de 1.4 mm se debe configurar una velocidad máxima de 40 mm/min. Con la configuración del firmware Marlin se logró realizar las 3 funciones propuestas en la máquina y se valida el modelado de la estructura mecánica y el diseño del sistema electrotécnico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Airaldi Guillermo, A. G. (2015). Plataforma de posicionamiento modular para impresión 3D, fresado y otras aplicaciones. Montevideo (Uruguay): Universidad de la Republica.
- Arduino (2021). Productos Arduino. Obtenido de: <https://store.arduino.cc/>
- ALF 3D Printer (2021). Arduino Mega + Ramps 1.4. Obtenido de: <http://alf3dpi.blogspot.com/2013/07/arduino-mega-2560-ramps-14-first-blood.html>
- Alibaba (2021). Motor de fresadora. Obtenido de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-frequency-18000rpm-micro-cnc-milling-spindle-motor-60573209925.html>
- AliExpress (2021). Kit de electrónica de impresora 3D. Obtenido de: [https://es.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative\\_id=SB\\_20210825210245&SearchText=+kit+de+electronica+de+impresora+3d](https://es.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative_id=SB_20210825210245&SearchText=+kit+de+electronica+de+impresora+3d)
- Allegro Microsystems (2021). DMOS Microstepping driver with translator and overcurrent protection. Massachusetts (USA). Obtenido de: [https://www.pololu.com/file/0J450/a4988\\_DMOS\\_microstepping\\_driver\\_with\\_translator.pdf](https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf)
- Amazon (2021). Impresora Anet. Obtenido de: <https://www.amazon.es/Impresora-Anet-impresora-actualizada-precisi%C3%B3n/dp/B072ZYNTRS>
- Banggood (2021). Modulo láser. Obtenido de: [https://es.banggood.com/2500mW-Blue-Laser-Module-3-Pin-DIY-Laser-Engraving-Module-Fits-3018-CNC-Router-p-1386316.html?cur\\_warehouse=CN](https://es.banggood.com/2500mW-Blue-Laser-Module-3-Pin-DIY-Laser-Engraving-Module-Fits-3018-CNC-Router-p-1386316.html?cur_warehouse=CN)
- Bricogeek (2021). Mini final de carrera. Obtenido de: <https://tienda.bricogeek.com/interruptores/1267-mini-final-de-carrera-135mm.html>
- Cándido. (2013). Alma de herrero. Obtenido de Alma de herrero: <http://almadeherrero.blogspot.com/2013/07/las-primeras-maquinas-herramienta-de.html>
- Capa Sobre Capa (2021). Tipos de movimiento FDM. Obtenido de: <https://capasobrecapa.com/tipos-movimiento-fdm/>
- Cura Ultimaker. (2021). Software de impresión 3D. Descargado de: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>
- Electropro (2021). Extrusor MK8. Obtenido de:

[https://electropro.pe/index.php?route=product/product&product\\_id=839](https://electropro.pe/index.php?route=product/product&product_id=839)

Flat Cam (2021). Software de PCB CAM. Descargado de: <http://flatcam.org/>

Frax3D (2021). SistemaCore XY. Obtenido de: <https://www.frax3d.com/corexy>

Gizlogic (2021). HE3D H500, impresora 3D con wifi para formatos grandes. Obtenido de: <https://www.gizlogic.com/he3d-h500-precio-opiniones/>

Hetpro Store (2021). Termistor NT100K. Obtenido de: <https://hetpro-store.com/termistor-100k-para-3d-printer/>

Laser GRBL (2021). Software de control laser. Descargado de: <https://lasergrbl.com/>

Madrid, F. (2021). Diseñar e implementar una impresora 3D con configuración Delta para el laboratorio de mecatrónica de la UNP - Perú - 2019. Piura (Perú): Universidad Nacional de Piura.

Marlín (2021). Sobre Marlín. Obtenido de: <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>

Makkusu (2021). Impresora cartesiana – plataforma de movimiento -investigación 1. Obtenido de: <https://maxdesign1990.wordpress.com/2016/05/22/gmtech-printer-motion-platform-research/>

Mercado Libre (2021). Cama caliente. Obtenido de: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-432490575-cama-caliente-para-impresora-3d-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-432490575-cama-caliente-para-impresora-3d-_JM)

Mercado Libre (2021). Correa dentada. Obtenido de: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-624764373-correa-dentada-gt2-impresora-3d-maquina-cnc-mecatronica-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-624764373-correa-dentada-gt2-impresora-3d-maquina-cnc-mecatronica-_JM?quantity=1)

Mercado Libre (2021). Impresora 3D cubica. Obtenido de: [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-759086461-impresora-3d-nueva-core-xy-\\_JM?quantity=1&variation=43319235992](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-759086461-impresora-3d-nueva-core-xy-_JM?quantity=1&variation=43319235992)

Mercado Libre (2021). Pantalla LCD 128x64. Obtenido de: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-459992897-pantalla-display-lcd-128x64-arduino-diacon-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-459992897-pantalla-display-lcd-128x64-arduino-diacon-_JM)

Mipesa (2021). Historia del control numérico computarizado. Obtenido de: <https://www.mipesa.es/la-historia-del-control-numerico-cnc/>

Morales Muñoz, V. (2017). Desarrollo de un controlador básico de impresión 3D. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia.

Naylamp Mechatronics (2021). Modulo relé. Obtenido de: <https://www.naylampmechatronics.com/drivers/31-modulo-relay-2-canales-5vdc.html>

Padilla Ortiz, R. N. (2017). Diseño y construcción de una cortadora láser para papel con interfaz gráfica. Ibarra (Ecuador): Universidad Técnica del Norte.

Pérez Espinoza, A. R. (2015). Diseño de una cortadora laser CNC de CO2 para acrílicos y madera. Lima (Perú): Pontificia Universidad Católica del Perú

Prometec (2021). Kit de motor y correa eje Y. Obtenido de: <https://www.prometec.net/blog-ksi3-motor-correa-eje-y/>

Rep Rap Org (2021). Ramps 1.6. Obtenido de: [https://reprap.org/wiki/RAMPS\\_1.6](https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.6)

Rep Rap Org (2021). Steel MM Large. Obtenido de: [https://reprap.org/wiki/Steel\\_MM\\_Large](https://reprap.org/wiki/Steel_MM_Large)

Riquelme Garcia, M. (2014). Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas. Cartagena (Colombia): Universidad Politécnica de Cartagena.

Rodriguez V., P. (2021). Diseño de interfaces hombre máquina (HMI). Valdivia (Chile): Universidad Austral de Chile.

Sculpteo (2021). Máquina de corte y Grabado láser Obtenido de: <https://www.sculpteo.com/es/glosario/maquina-corte-y-grabado-por-laser/>

Skech Up. (2021). Programa de diseño gráfico y modelado en 3 dimensiones basado en CAD. Descargado de: <https://www.sketchup.com/es>

Spaulding, D. (2017). D-bot Core-XY 3D printer build and configuration guide.

Ssdielect (2021). Arduino y compatibles. Obtenido de: <https://ssdielect.com/es/arduino-y-compatibles/1418-shield-ramps-1-4.html>

Stratasys (2021). 3D printing history. Obtenido de: <https://www.stratasys.com/es/explore/article/3d-printing-history>

Stratasys (2021).FDM Technology. Obtenido de: <https://www.stratasys.com/es/fdm-technology>

Sysadmins (2021). Impresoras 3D: Que son y cómo funciona. Obtenido de: <https://www.sysadminsdecuba.com/2020/02/impresoras-3d-que-son-y-como-funciona/>

Wearables e impresoras 3D (2021). Tipos de impresoras 3D. Obtenido de: <https://iutoms7001.wordpress.com/2016/10/30/tipos-de-impresoras-3d/>

ZYLTECH (2021). Motor Nema 17. Obtenido de: <http://www.zyltech.com/nema-17-stepper-motor-1-5-a-0-42-nm-59-ozin-1-3-or-5-pack/>

3D Natives (2021). Tipos de impresoras 3D FDM. Obtenido de: <https://es.3dsystems.com/our-story>

3D Printers (2021). Placa Arduino + Ramps 1.6. Obtenido de: <https://board.3d-printers.biz/biqu-ramps-1-6-plus-board-arduino-mega2560.html>

3D Systems (2021). Our history. Obtenido de: <https://es.3dsystems.com/our-story>

## ANEXOS

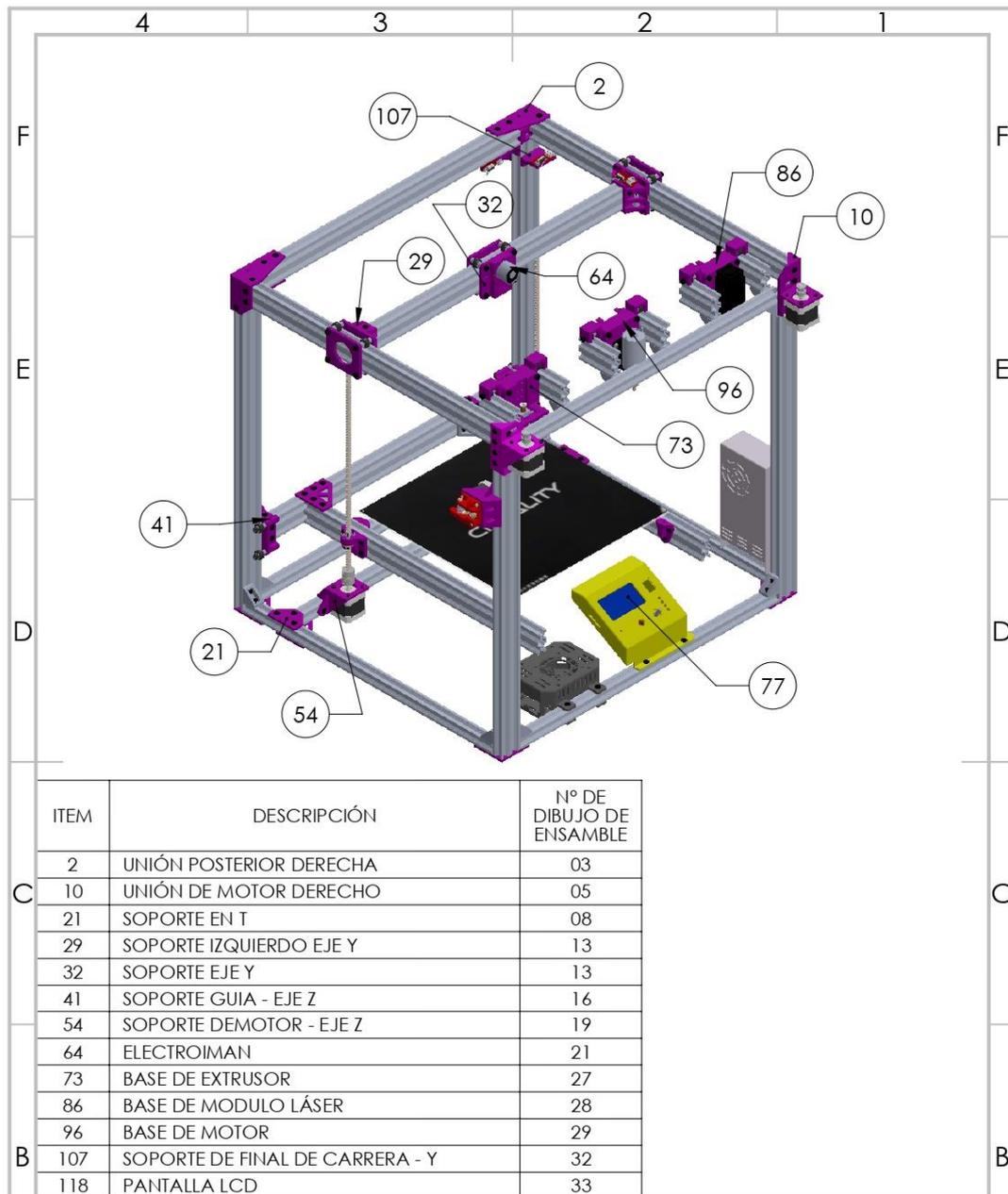
### Anexo 1. Base de datos de procesos con láser

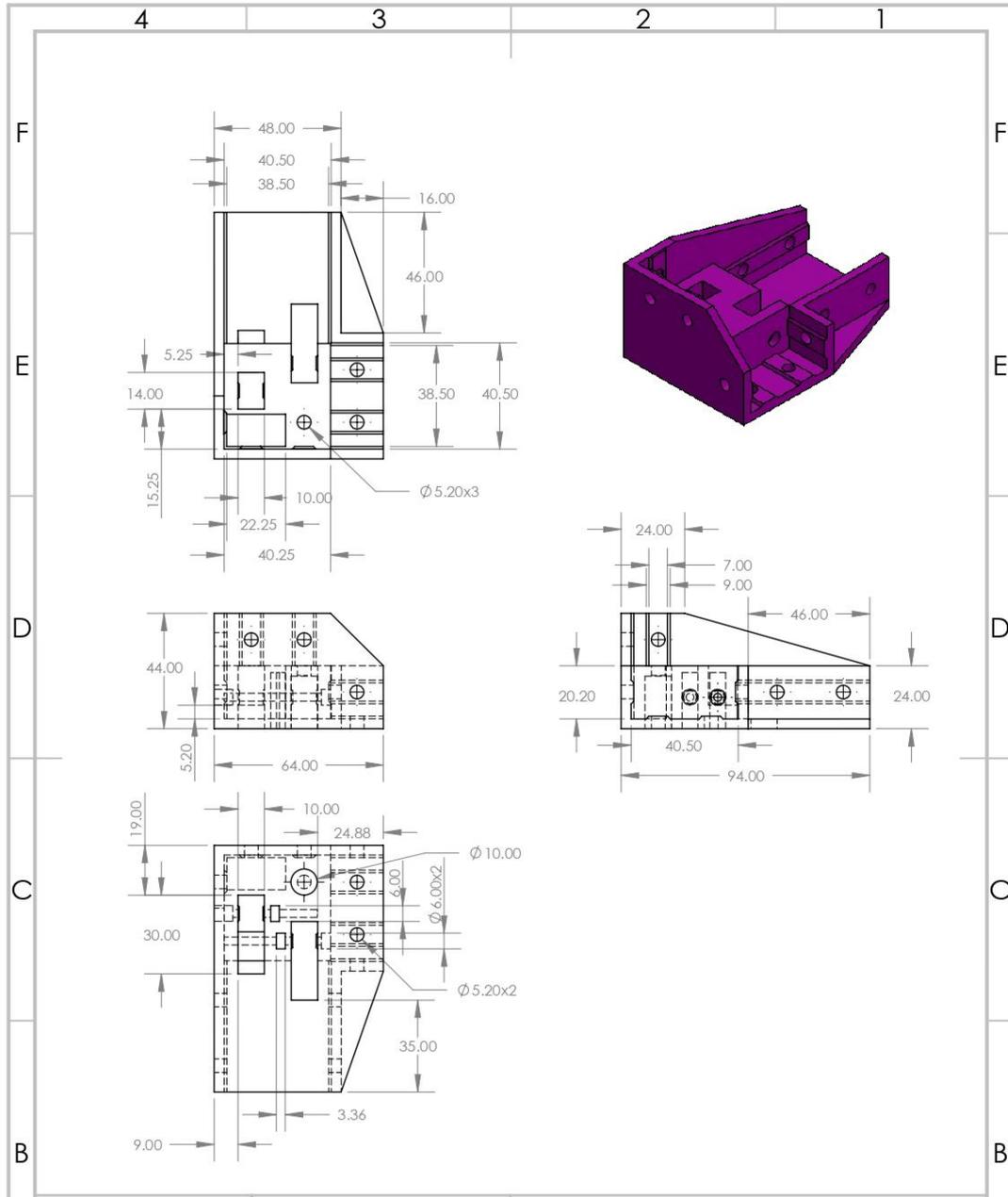
#### Laser & Material Database

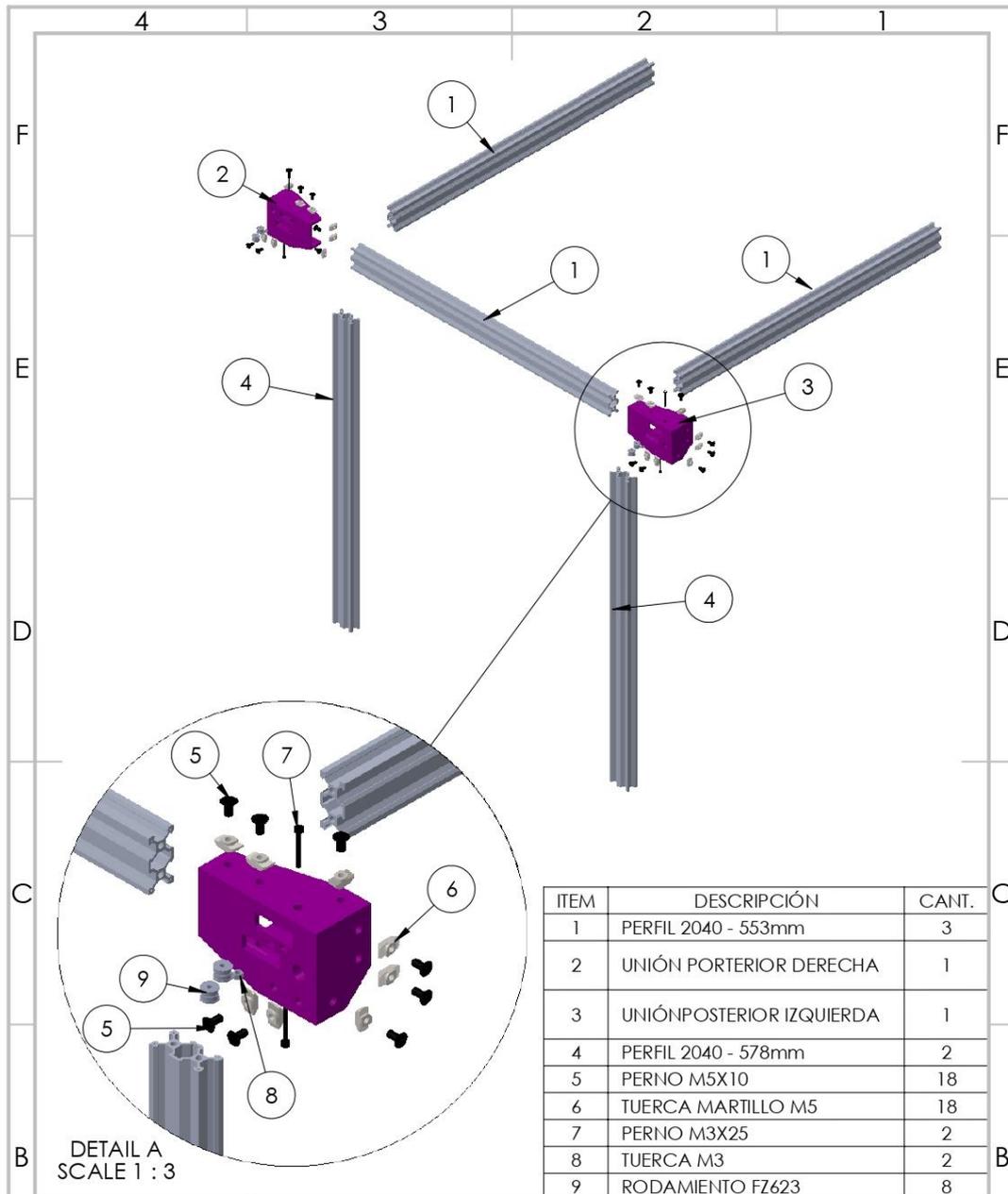
	Visible	Model	Material	Action	Thickness	Power	Speed	Cycles
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Plywood	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Paperboard	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Paperboard	Cut	-	100%	200 mm/min	2
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Kraft Paper	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Kraft Paper	Cut	250 g/mq	100%	200 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	KT Board (dark c...	Cut	5mm	100%	600 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Non-woven fabri...	Cut	0.5mm	100%	500 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Cotton Cloth (dar...	Cut	-	100%	500 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Leather	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Leather	Cut	0.7mm	100%	100 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Plastic Sheet (dar...	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Solid Wood	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Acrylic	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Powder Coated ...	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Paint Sprayed M...	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Plated Metal	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU7W (1.5W)	Anodised Alumini...	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Plywood	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Plywood	Cut	1.5mm	100%	200 mm/min	2
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Plywood	Cut	3mm	100%	100 mm/min	3
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Paperboard	Engrave	-	30%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Paperboard	Cut	-	100%	1000 mm/min	4
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Kraft Paper	Engrave	-	30%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Kraft Paper	Cut	250 g/mq	100%	800 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	KT Board (dark c...	Cut	5mm	100%	2000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Cotton Cloth (dar...	Cut	-	100%	1000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Leather	Engrave	-	40%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Leather	Cut	0.7mm	100%	300 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Plastic Sheet (dar...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Solid Wood	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Acrylic	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Powder Coated ...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Paint Sprayed M...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Plated Metal	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Anodised Alumini...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ortur LU15W (4....	Cobblestone	Engrave	-	100%	100 mm/min	1

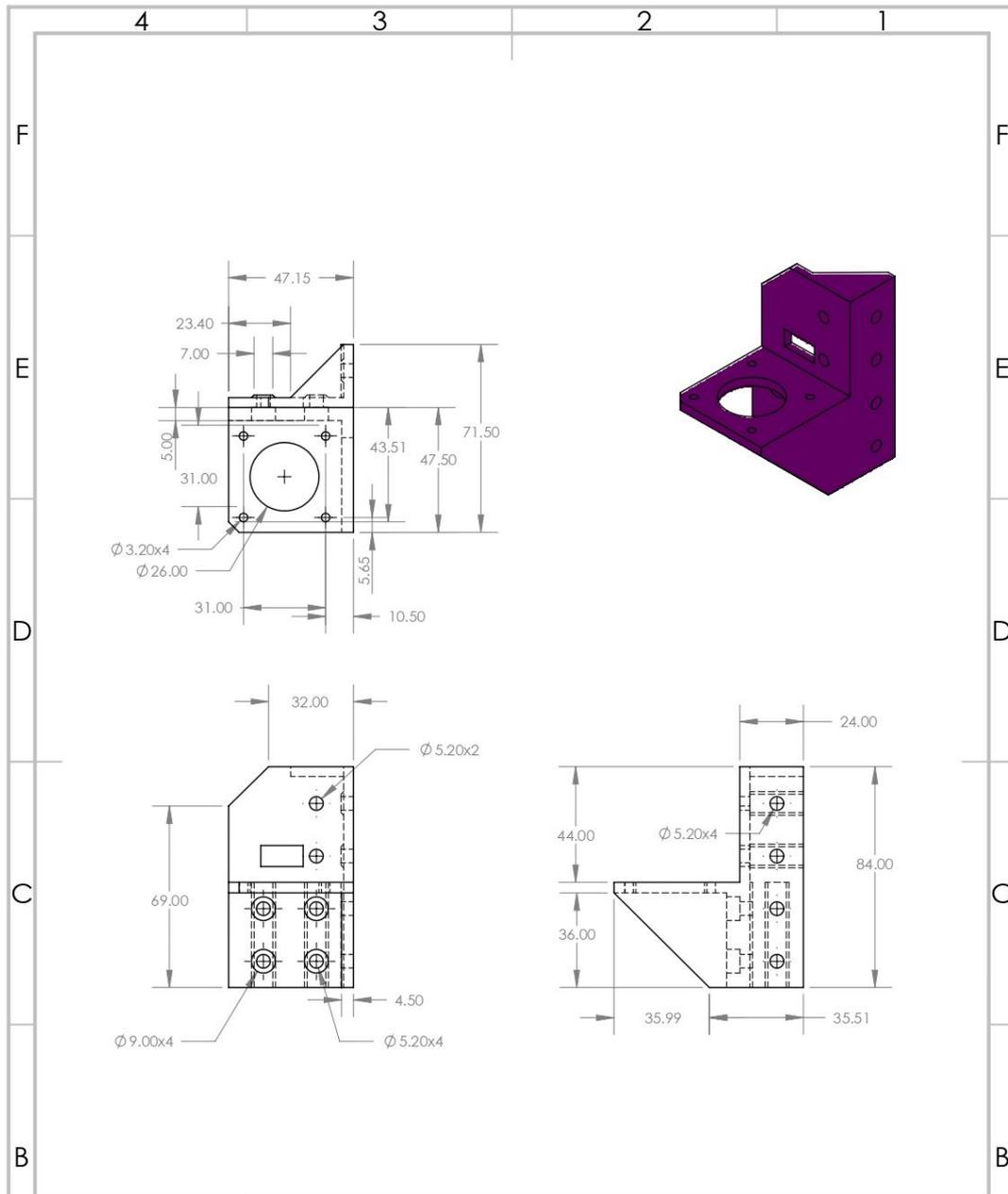
New elements: 0 [import](#)

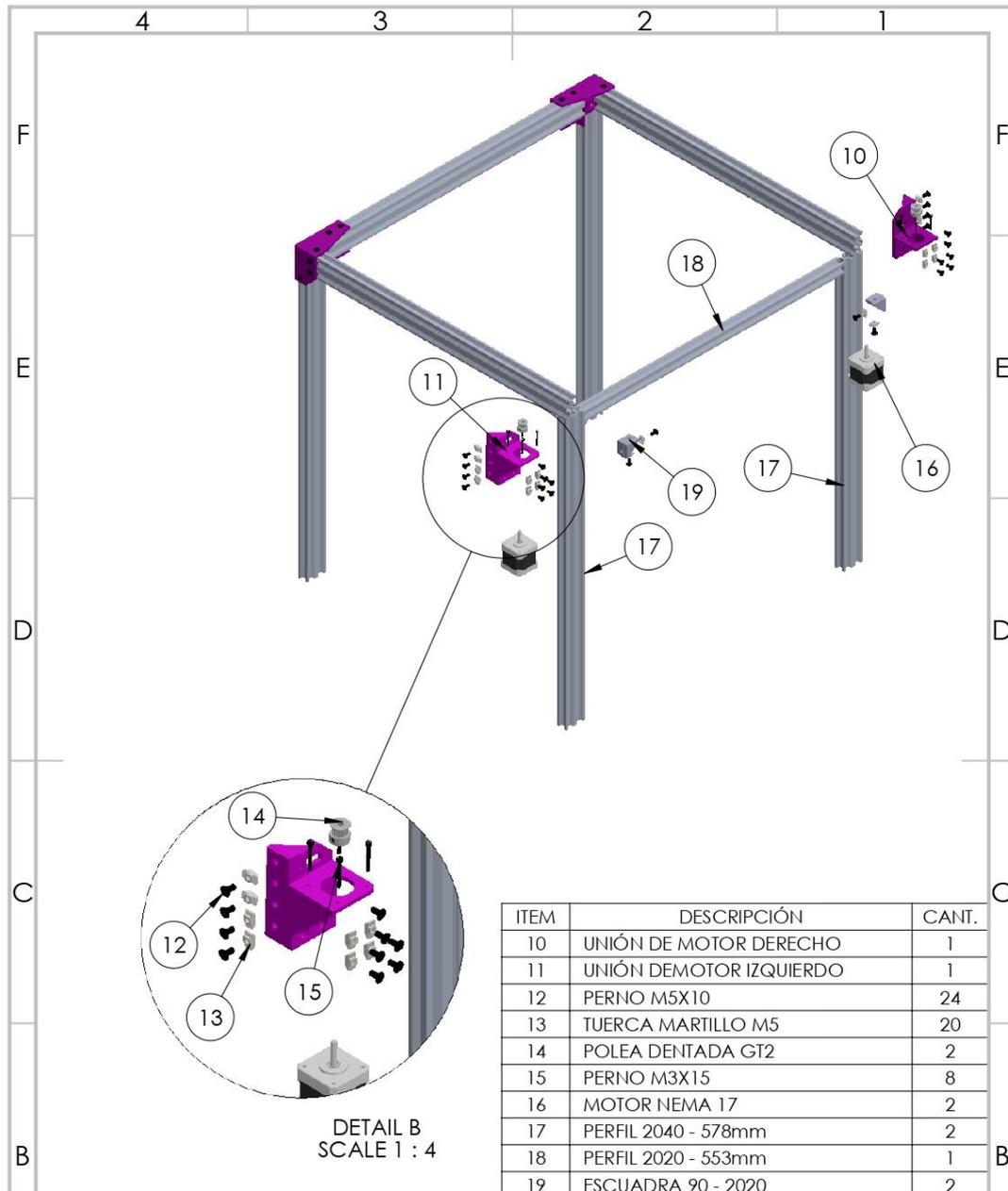
## Anexo 2. Planos de máquina multifuncional

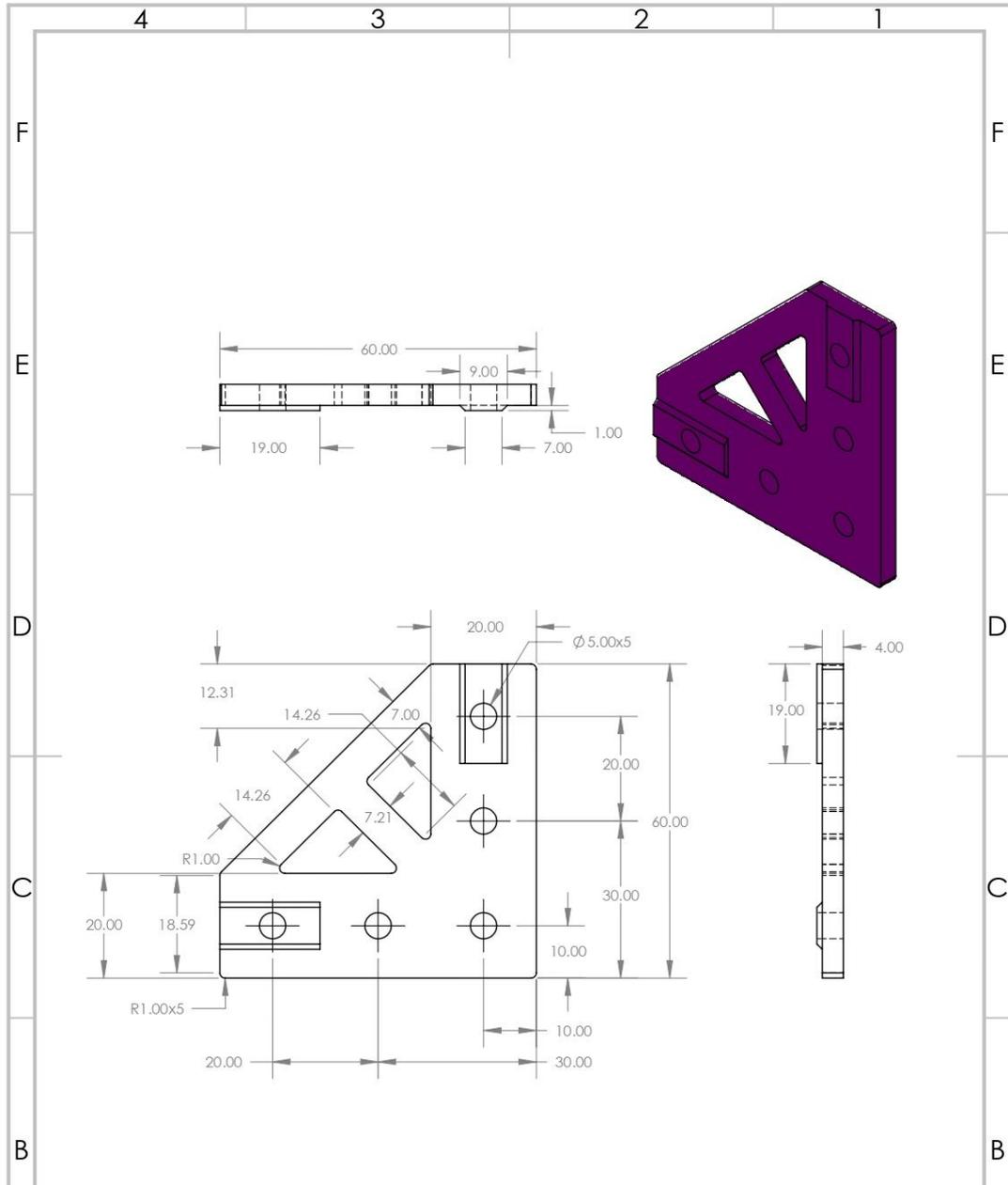


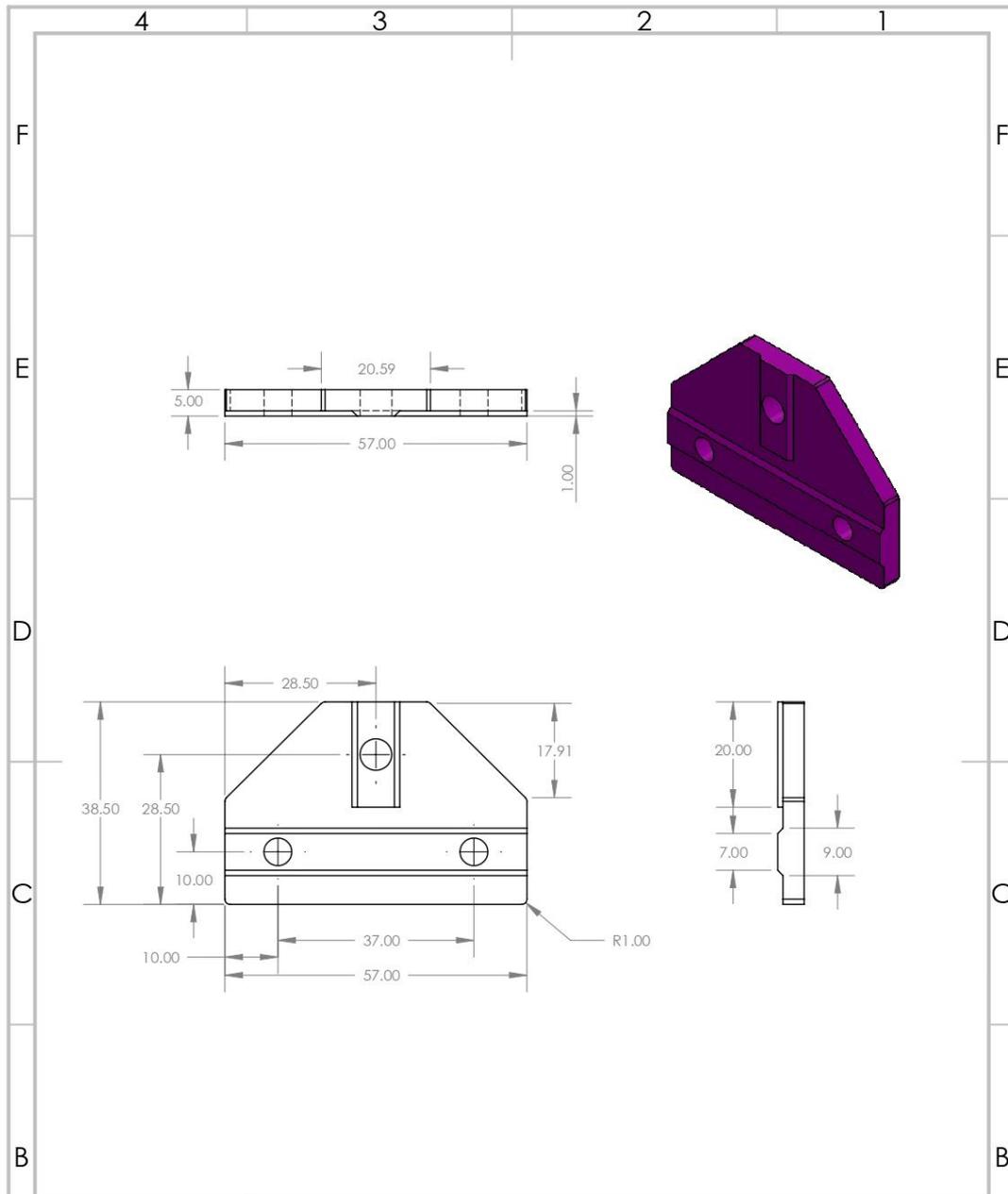


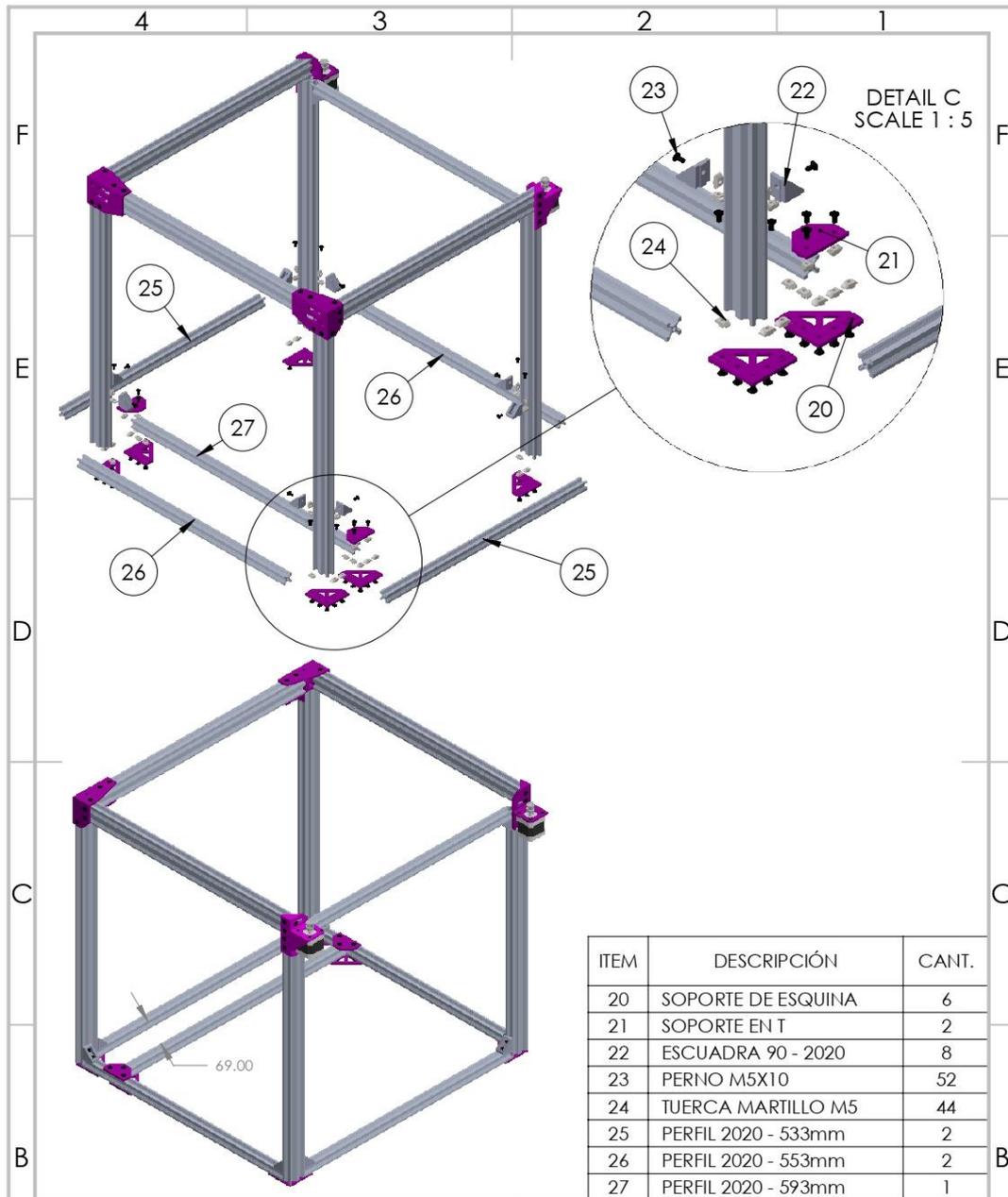


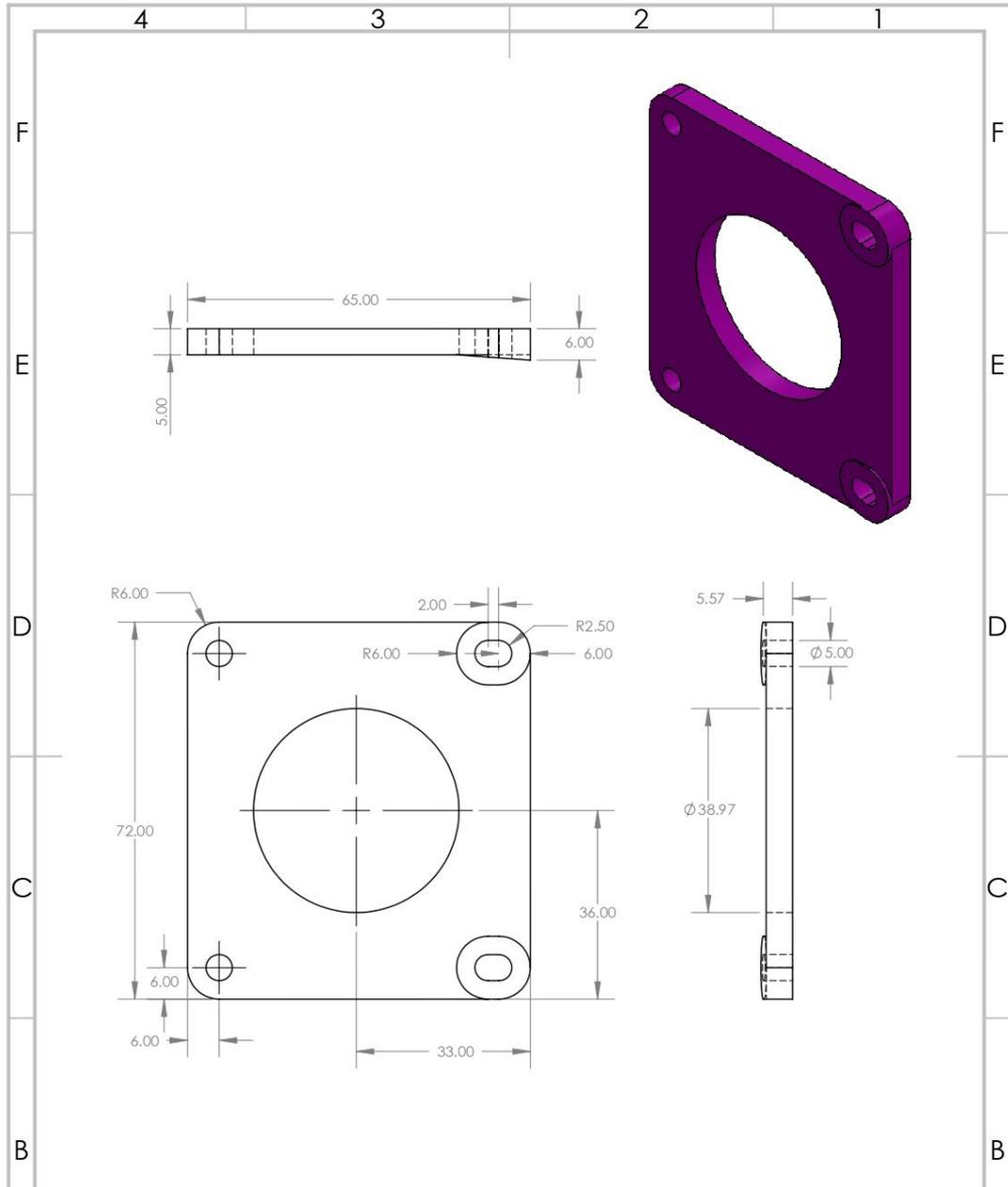


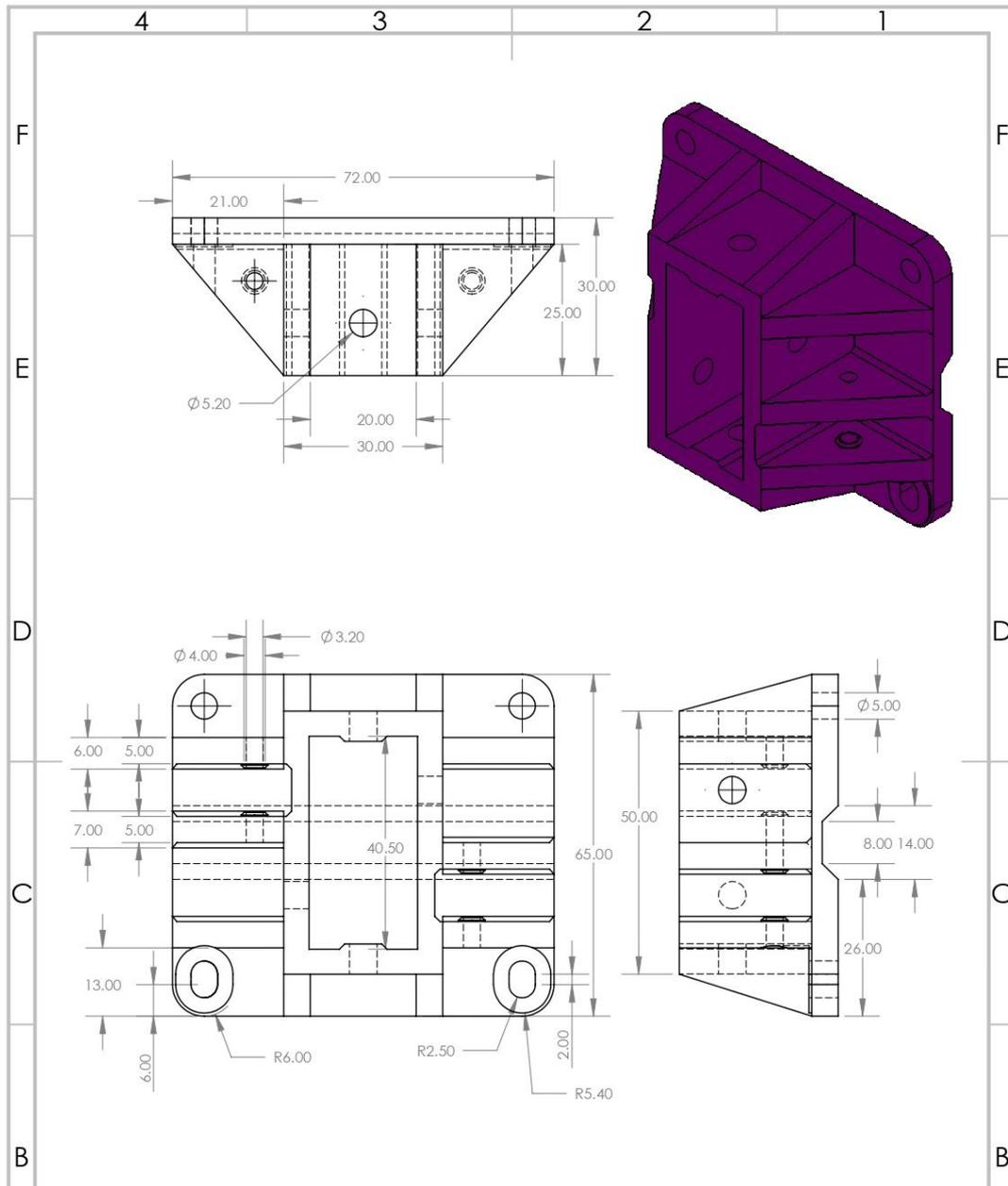


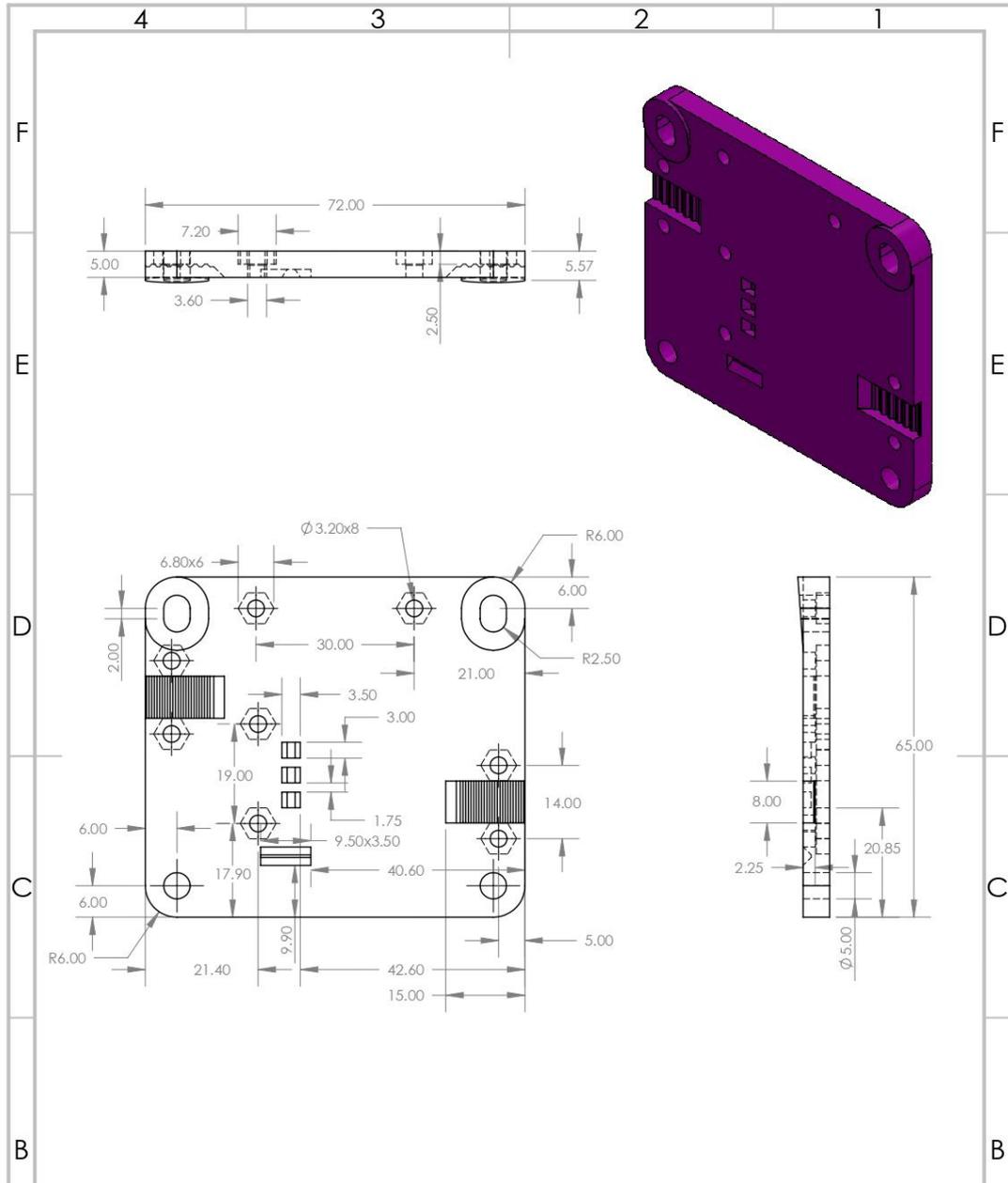


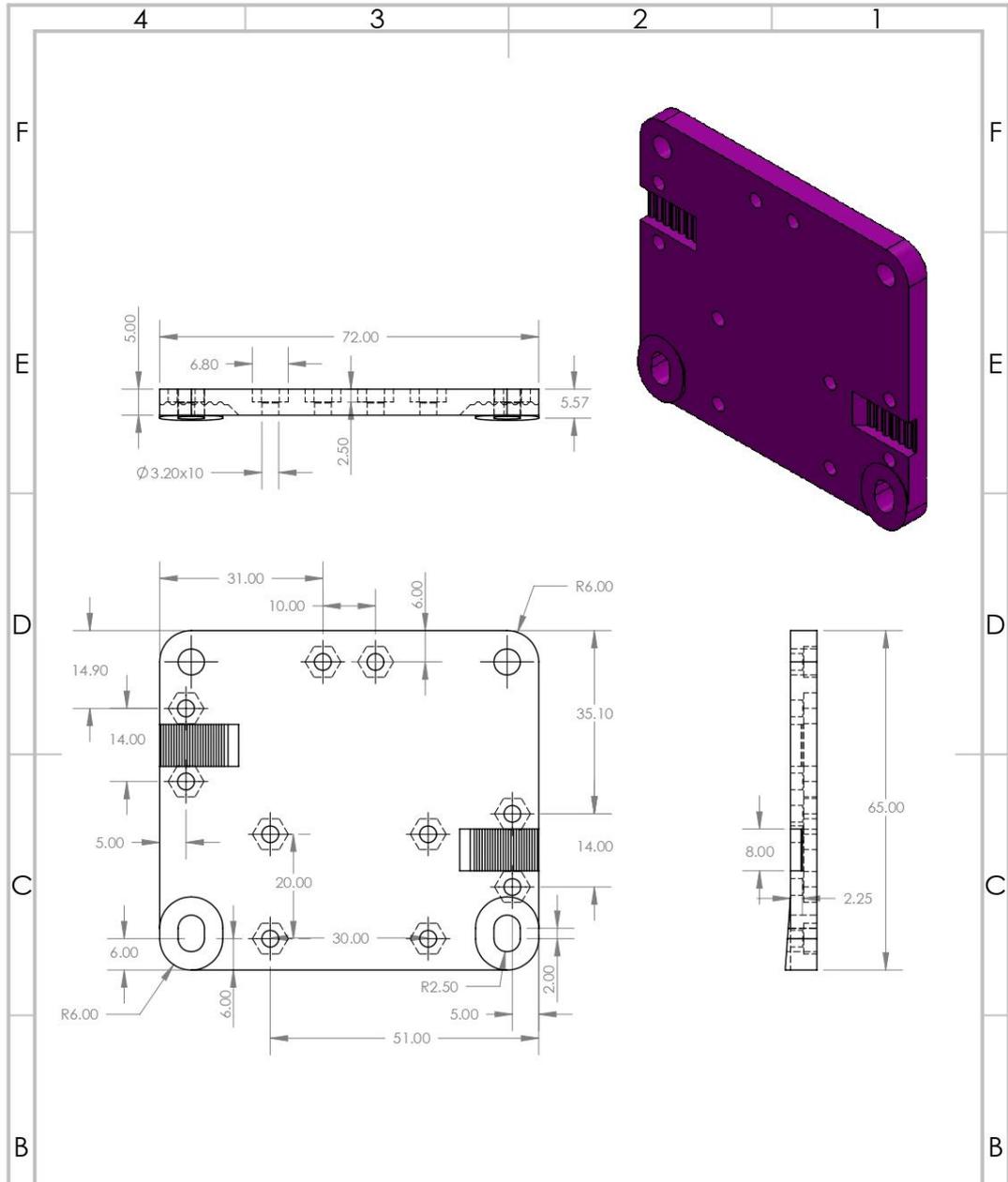


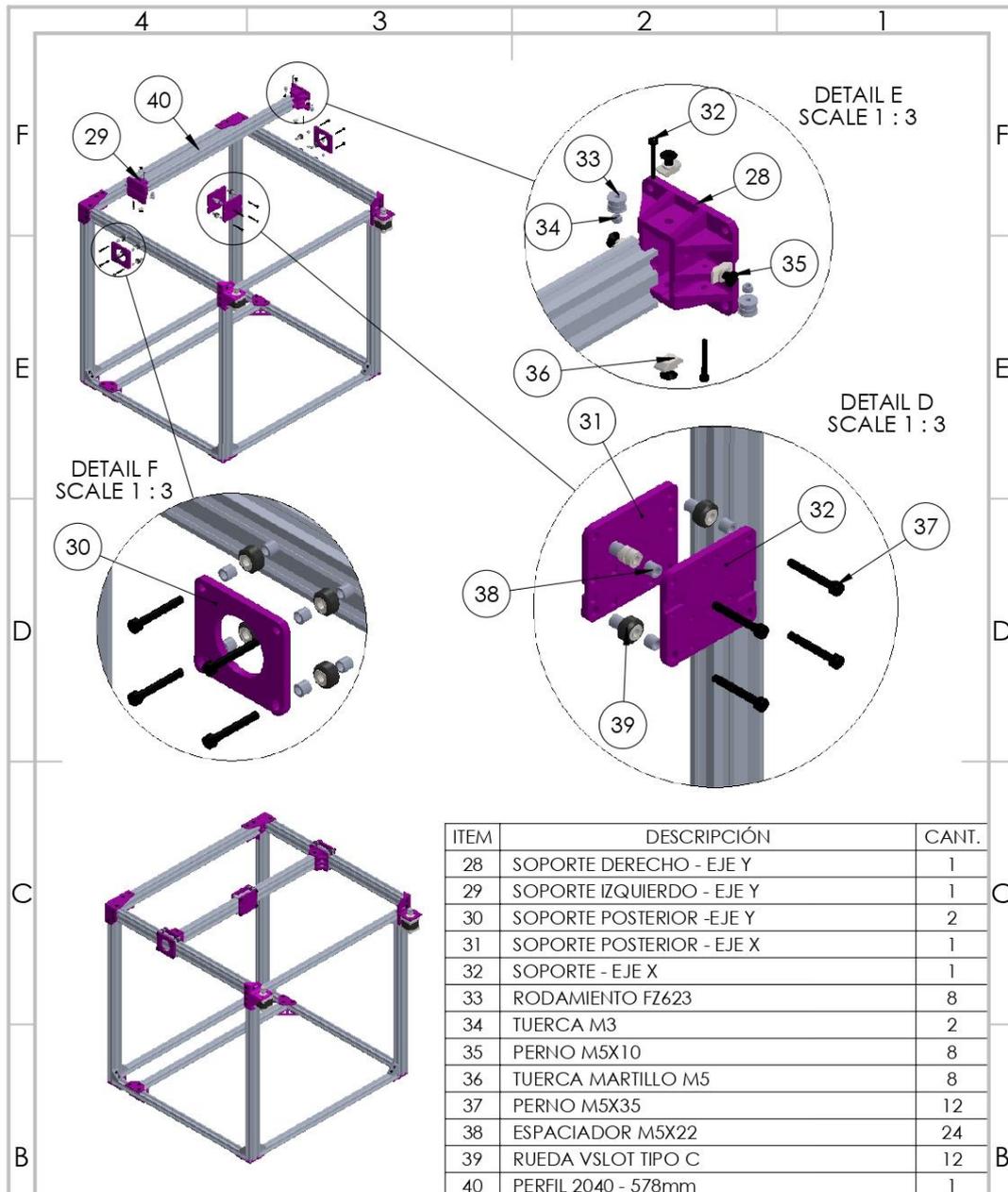




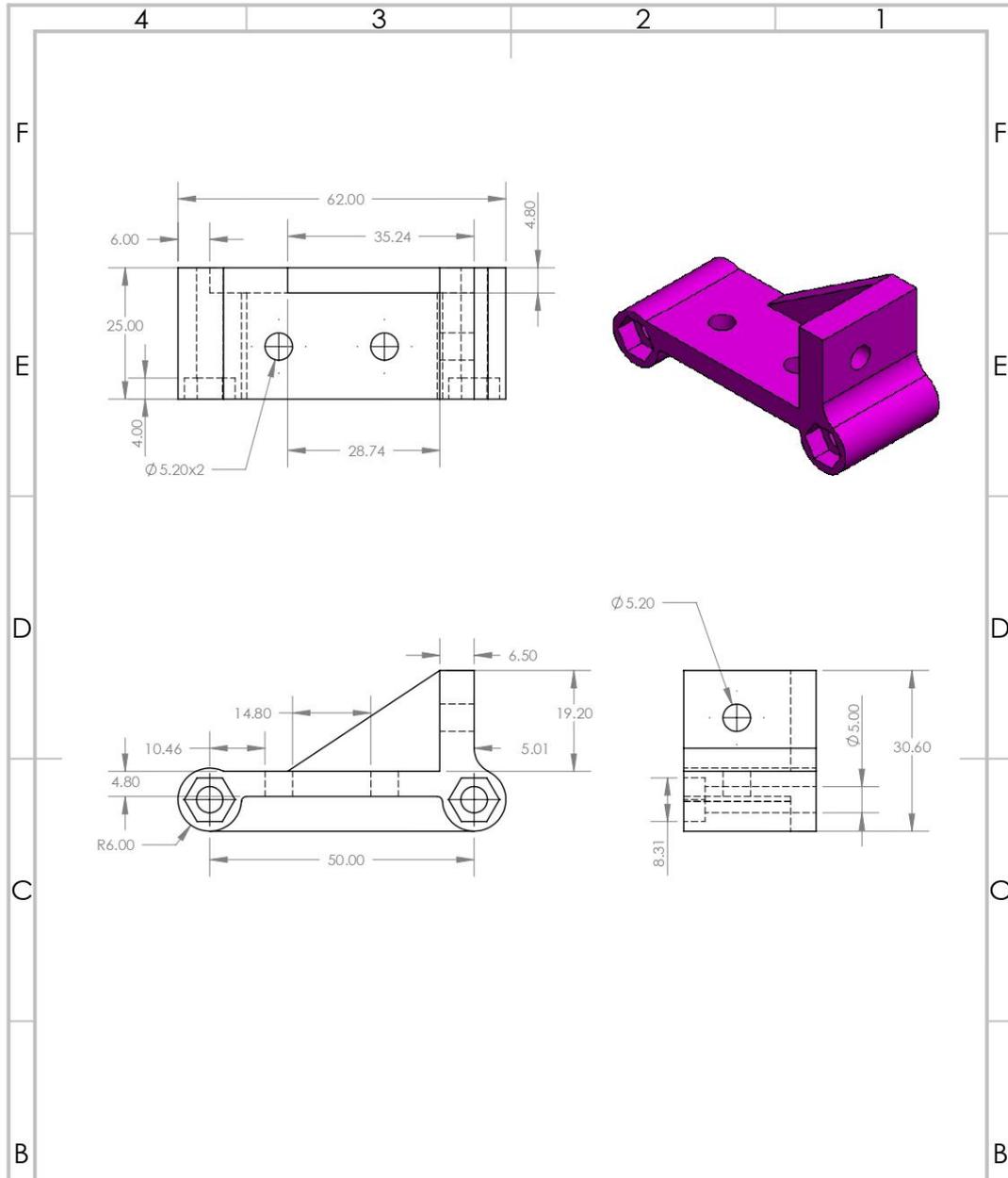


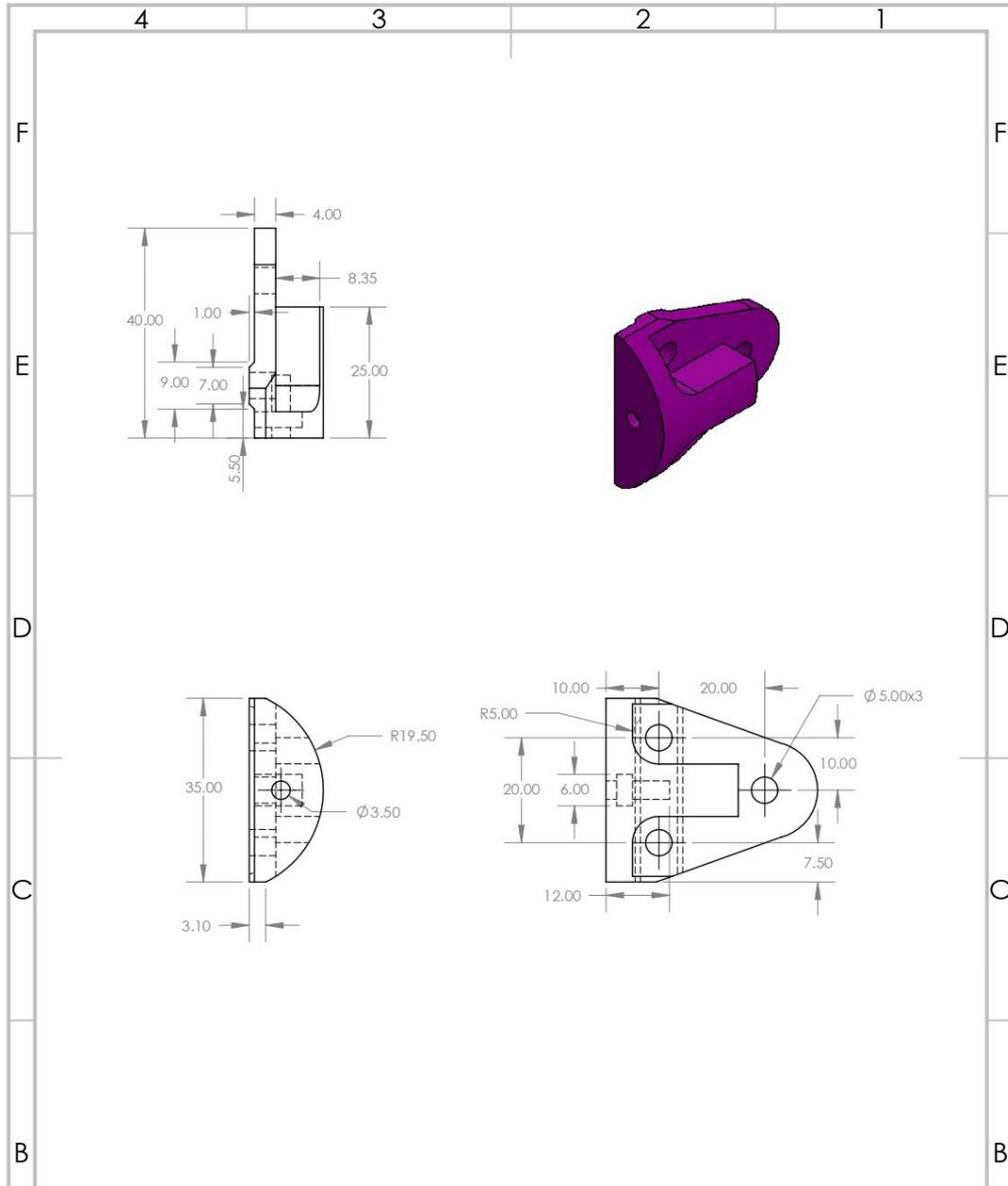


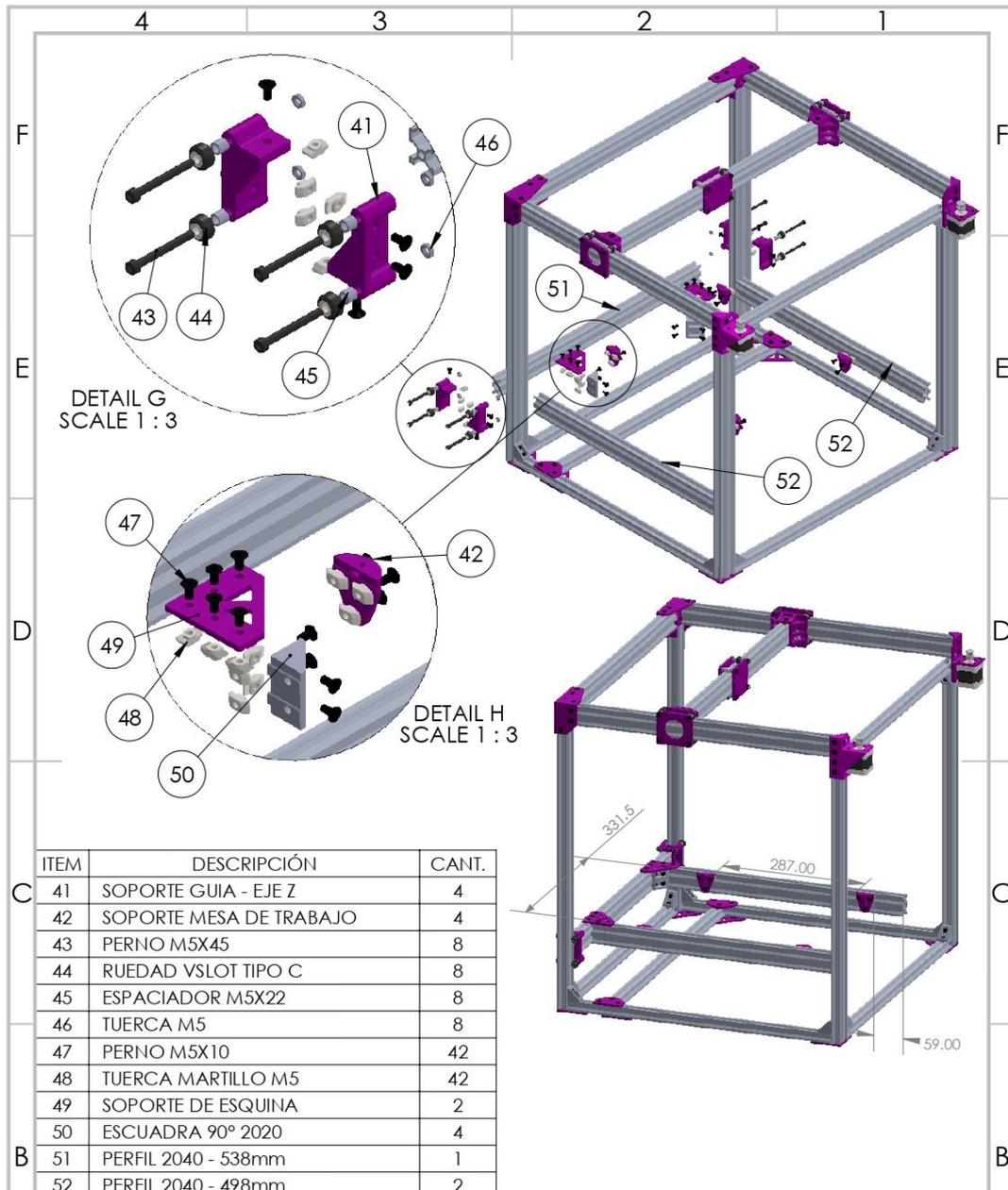


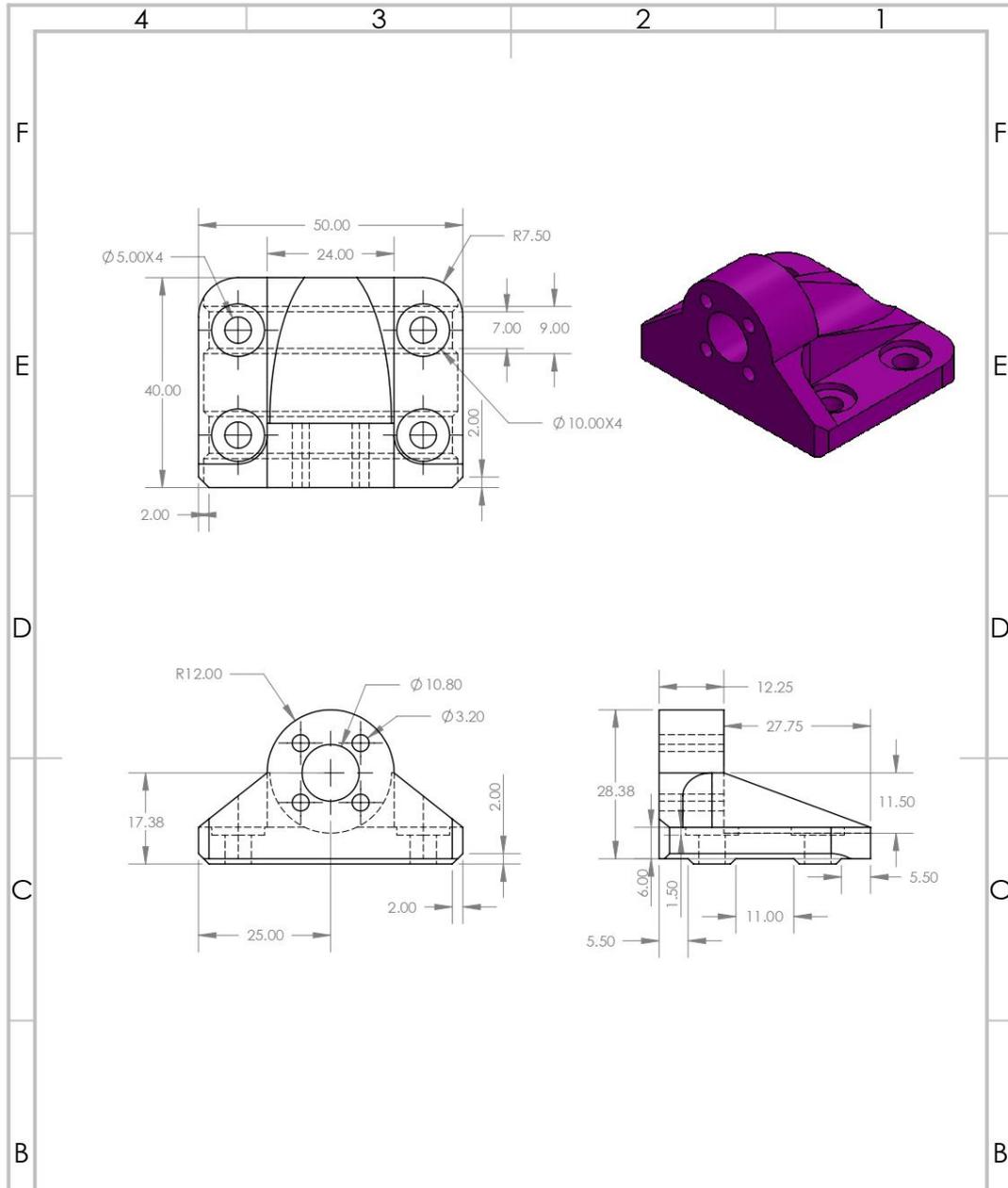


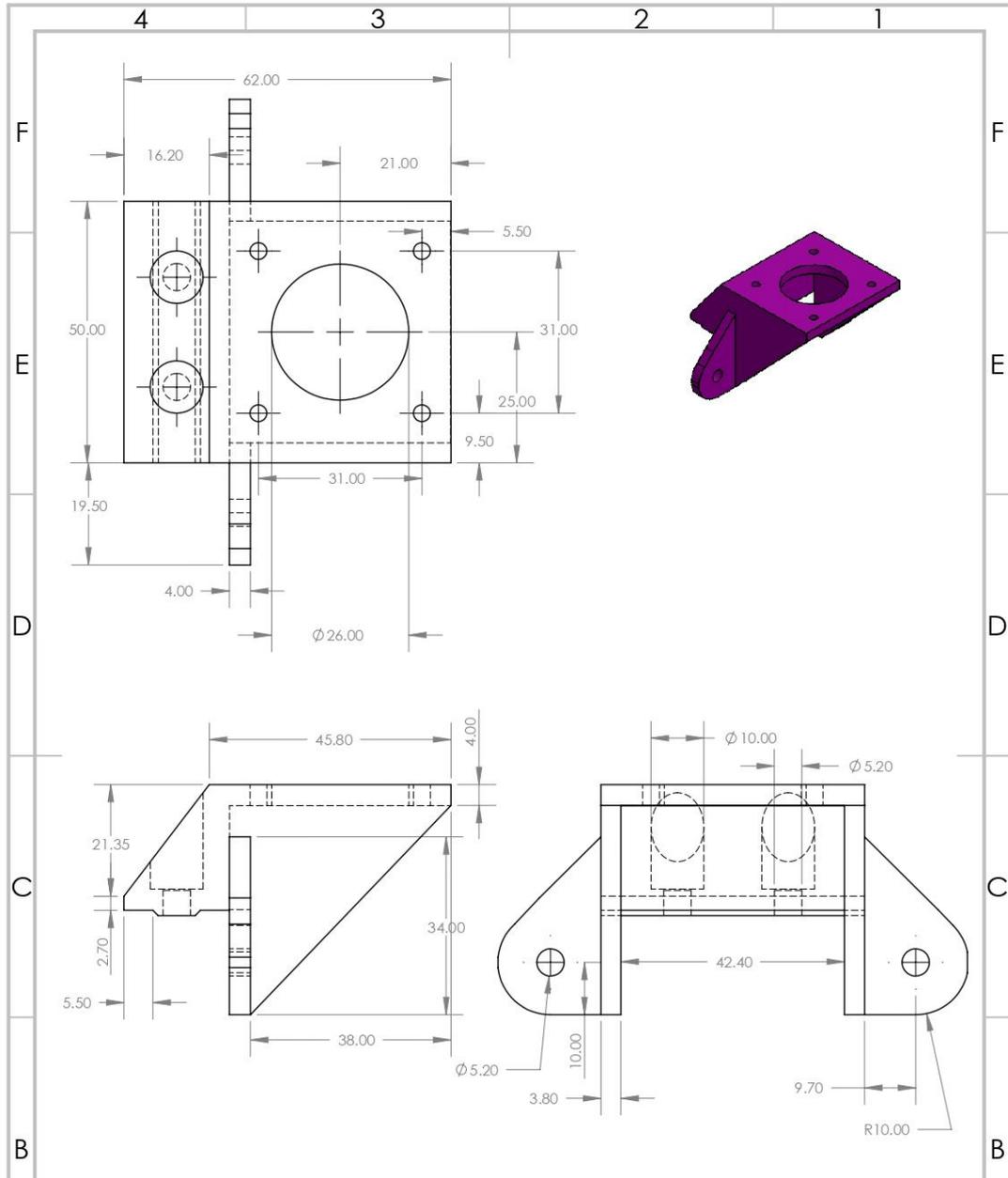
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.
28	SOPORTE DERECHO - EJE Y	1
29	SOPORTE IZQUIERDO - EJE Y	1
30	SOPORTE POSTERIOR -EJE Y	2
31	SOPORTE POSTERIOR - EJE X	1
32	SOPORTE - EJE X	1
33	RODAMIENTO FZ623	8
34	TUERCA M3	2
35	PERNO M5X10	8
36	TUERCA MARTILLO M5	8
37	PERNO M5X35	12
38	ESPACIADOR M5X22	24
39	RUEDA VSLOT TIPO C	12
40	PERFIL 2040 - 578mm	1

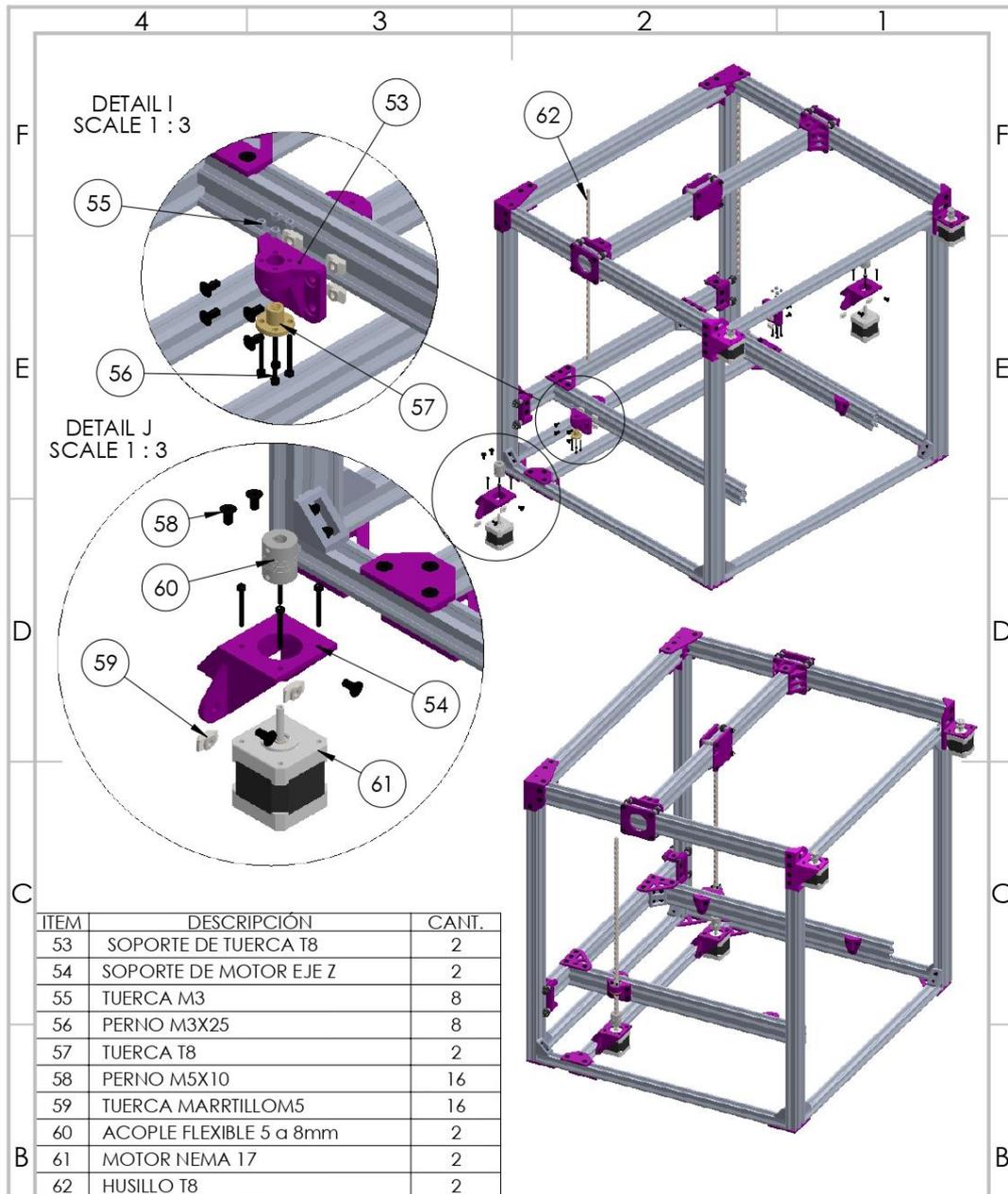




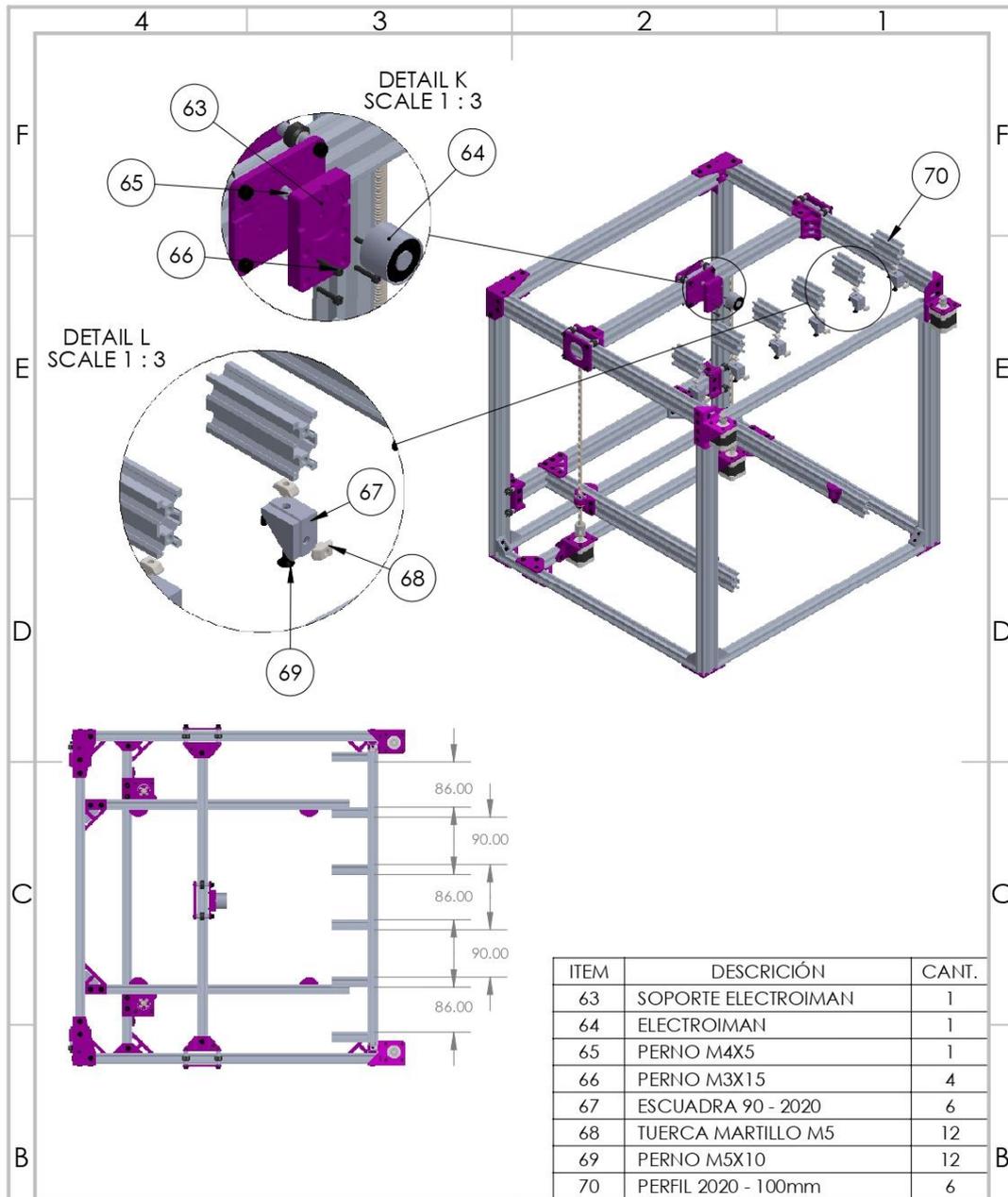


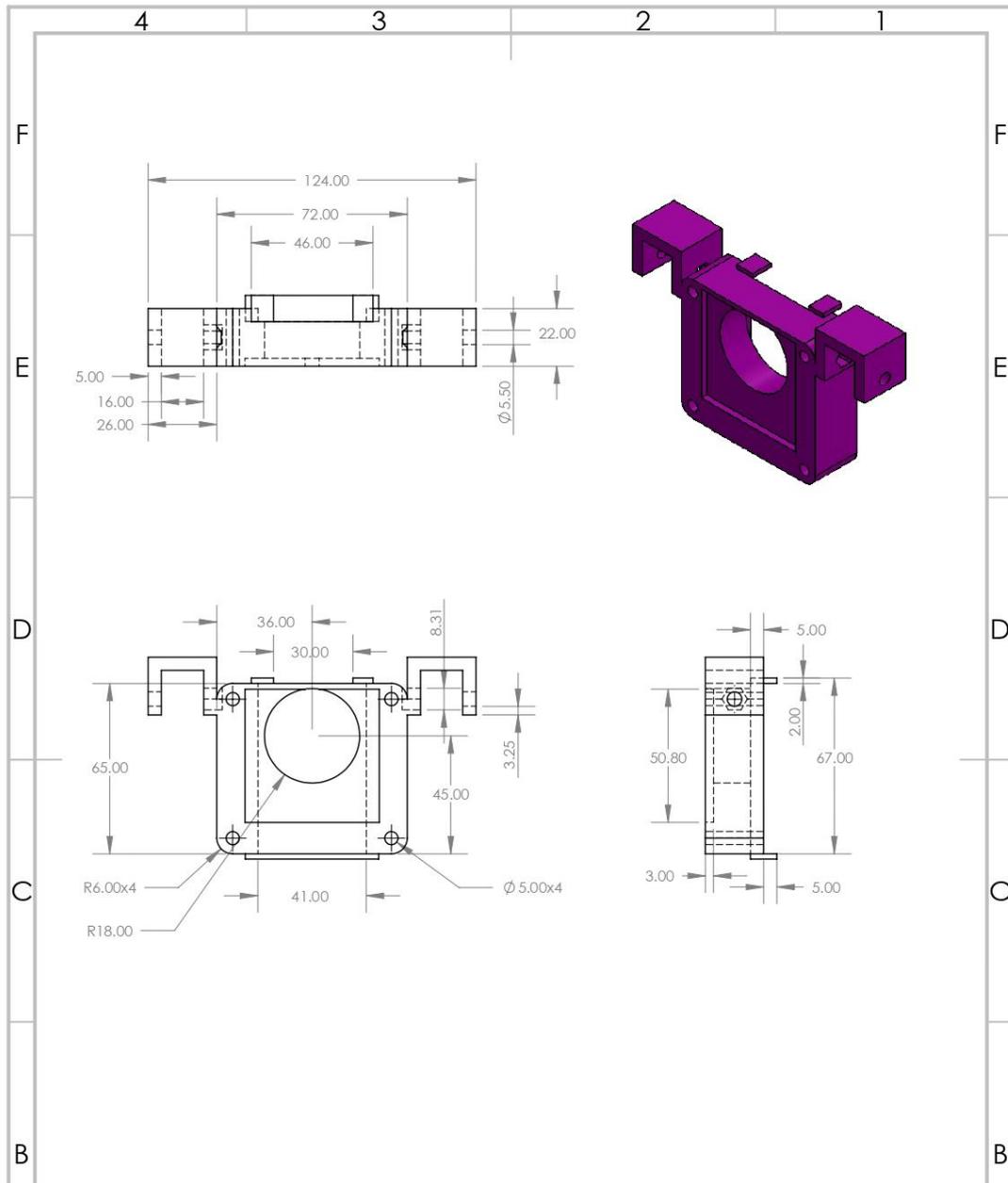


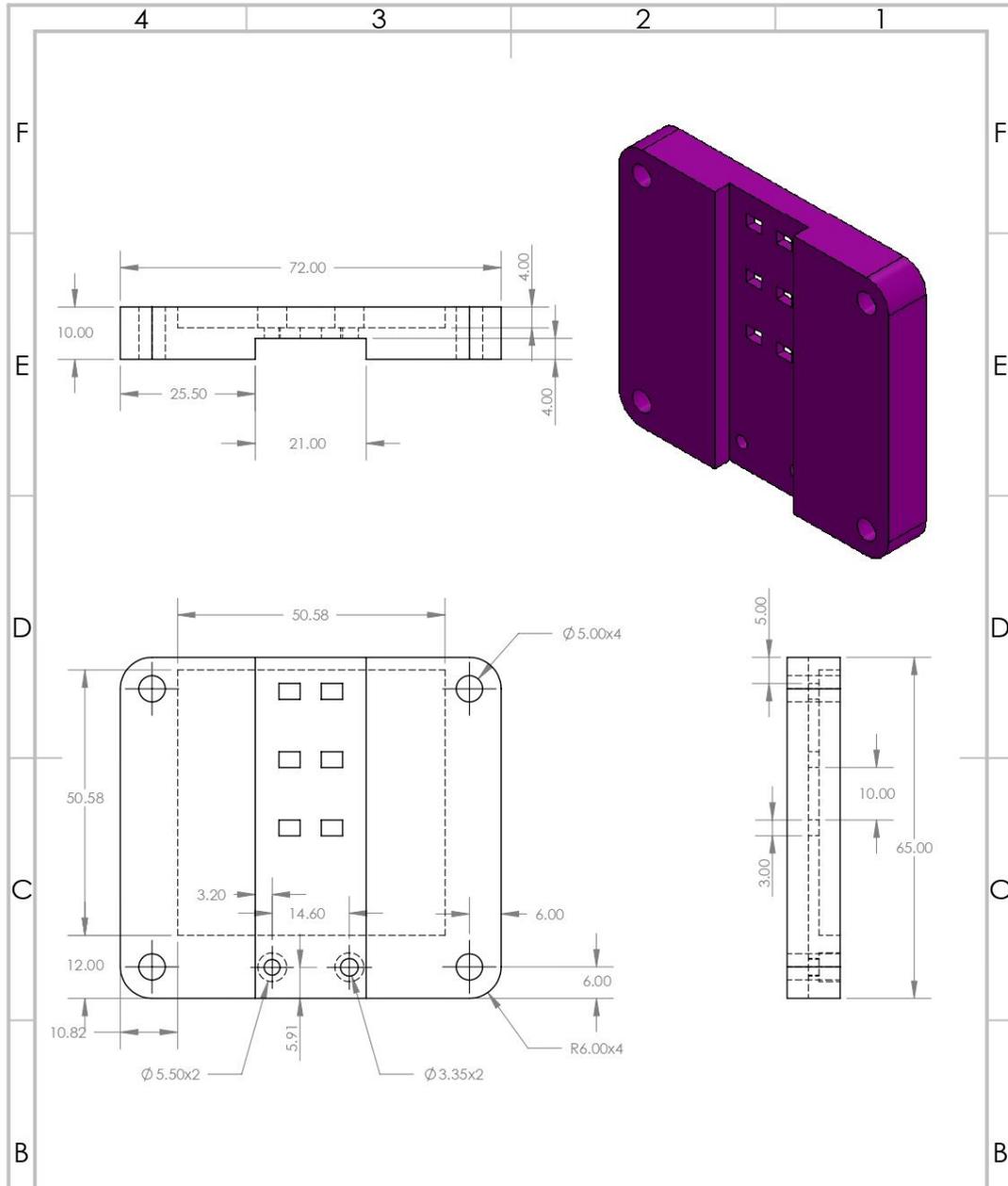




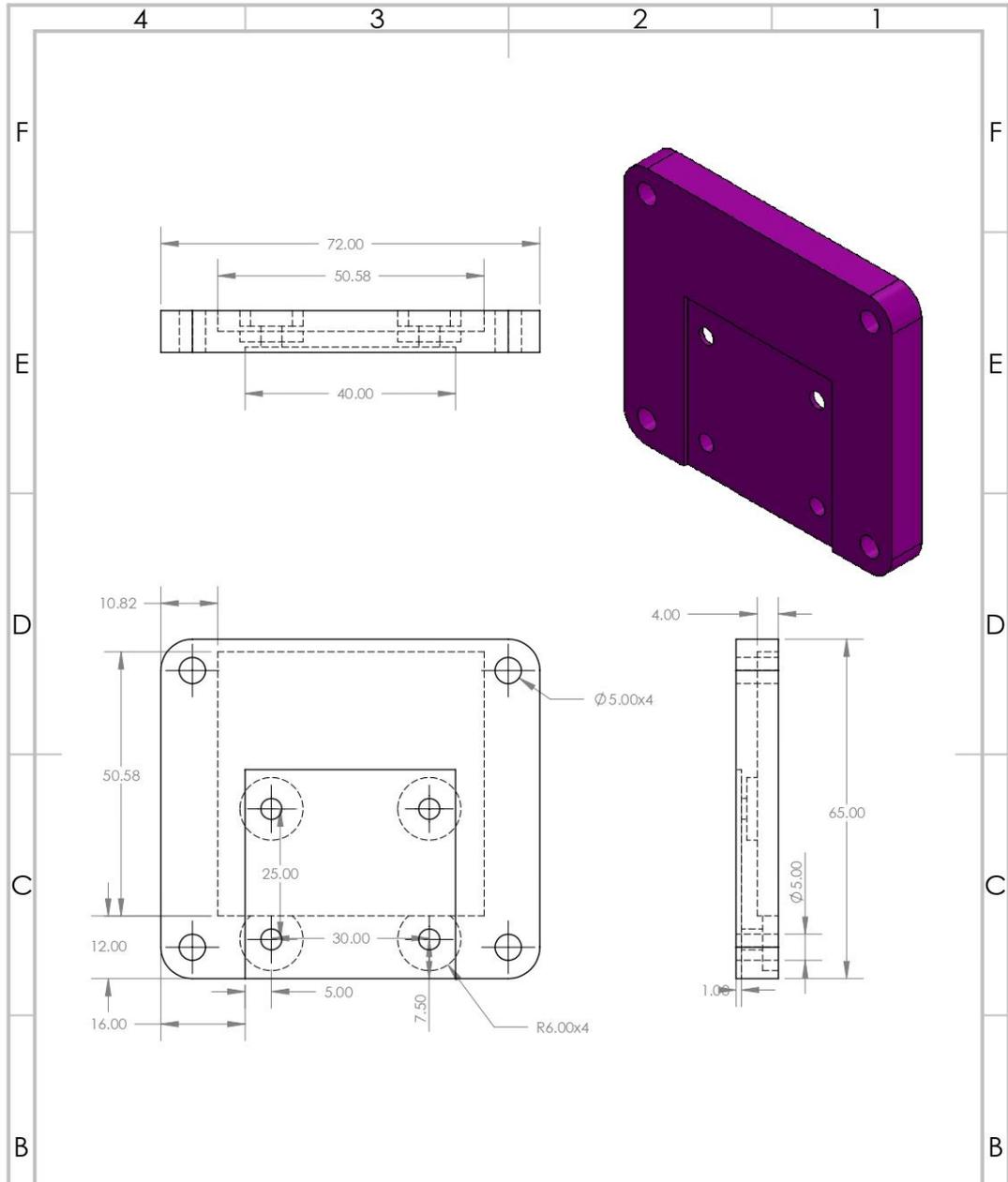


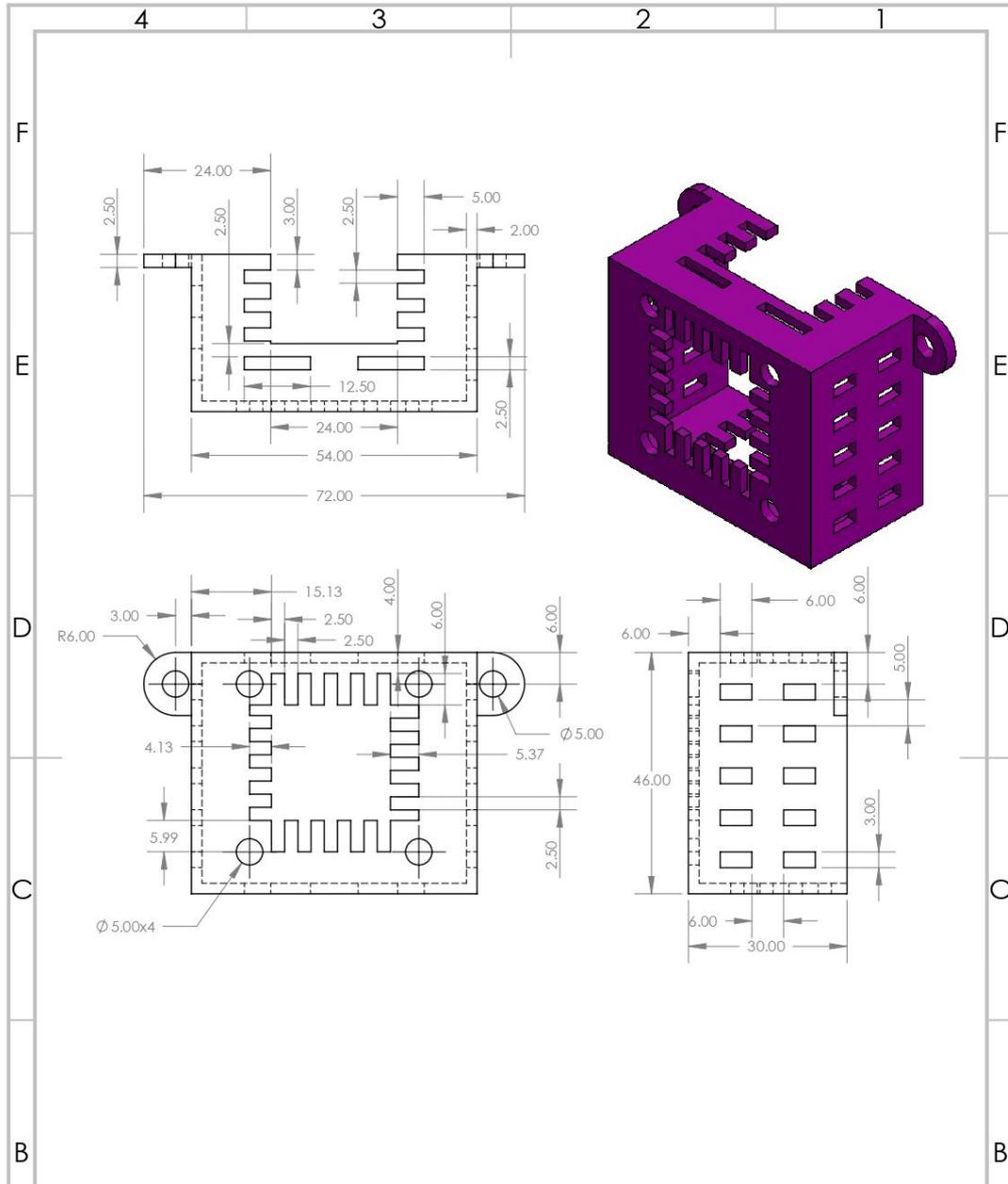


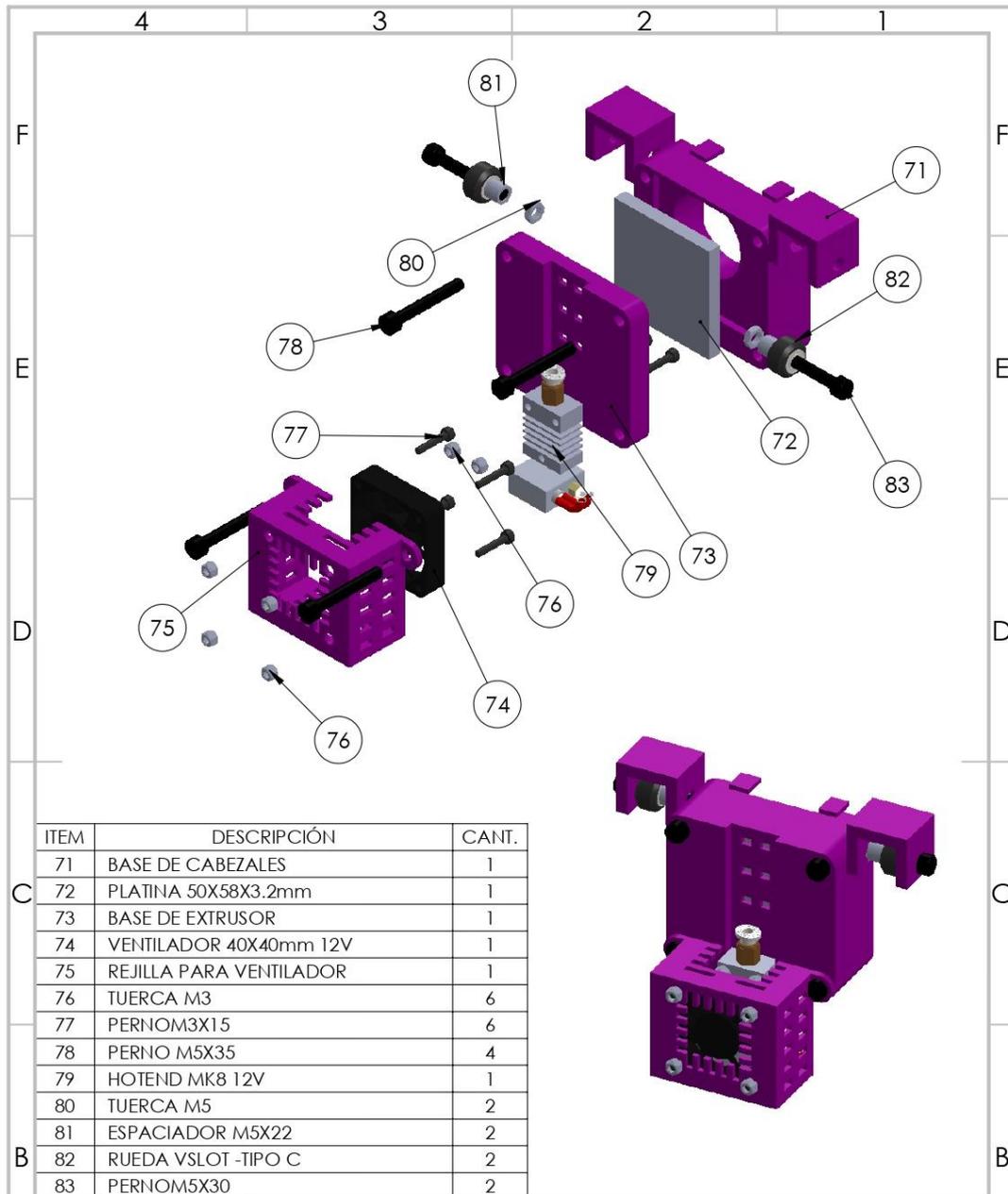


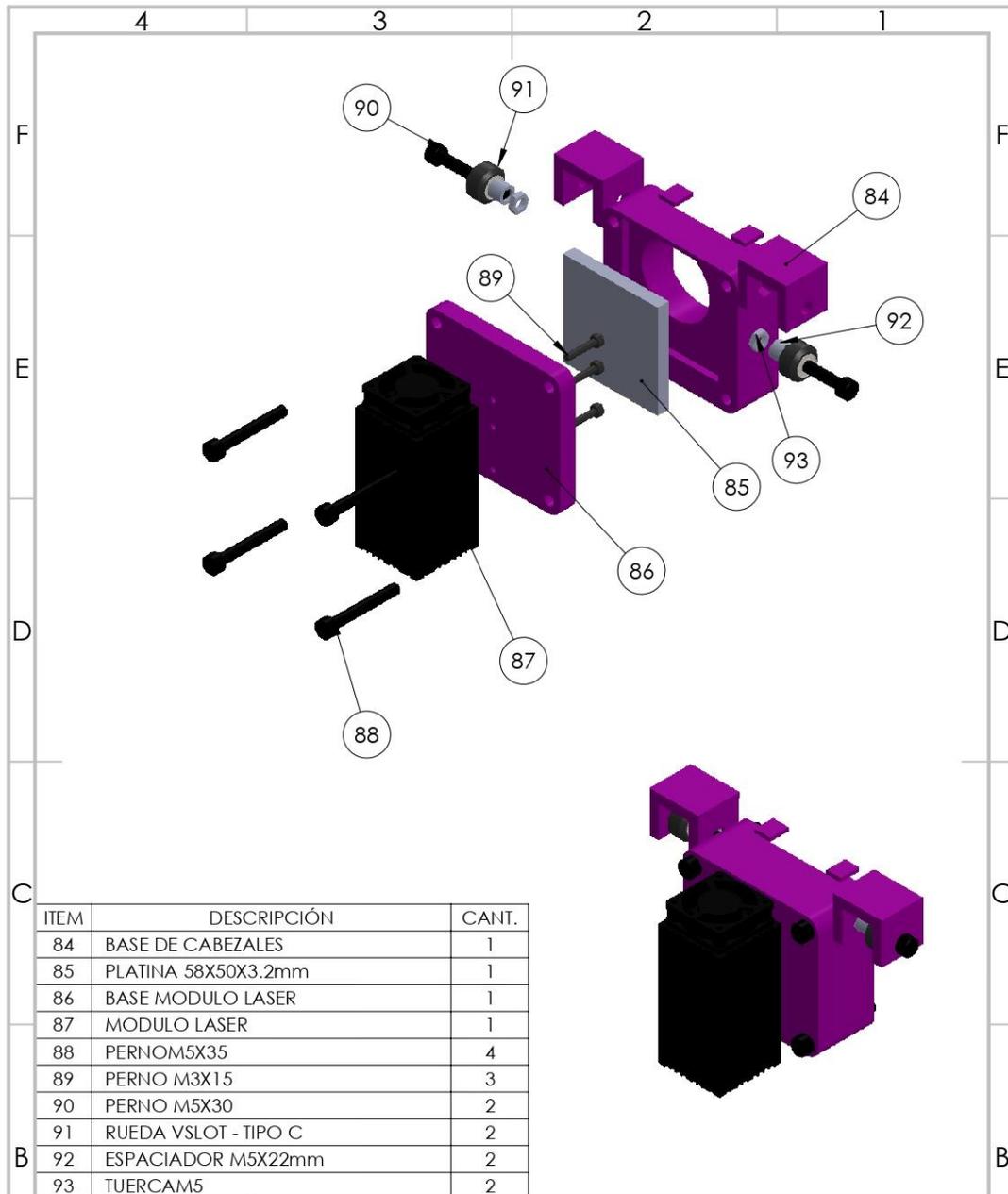


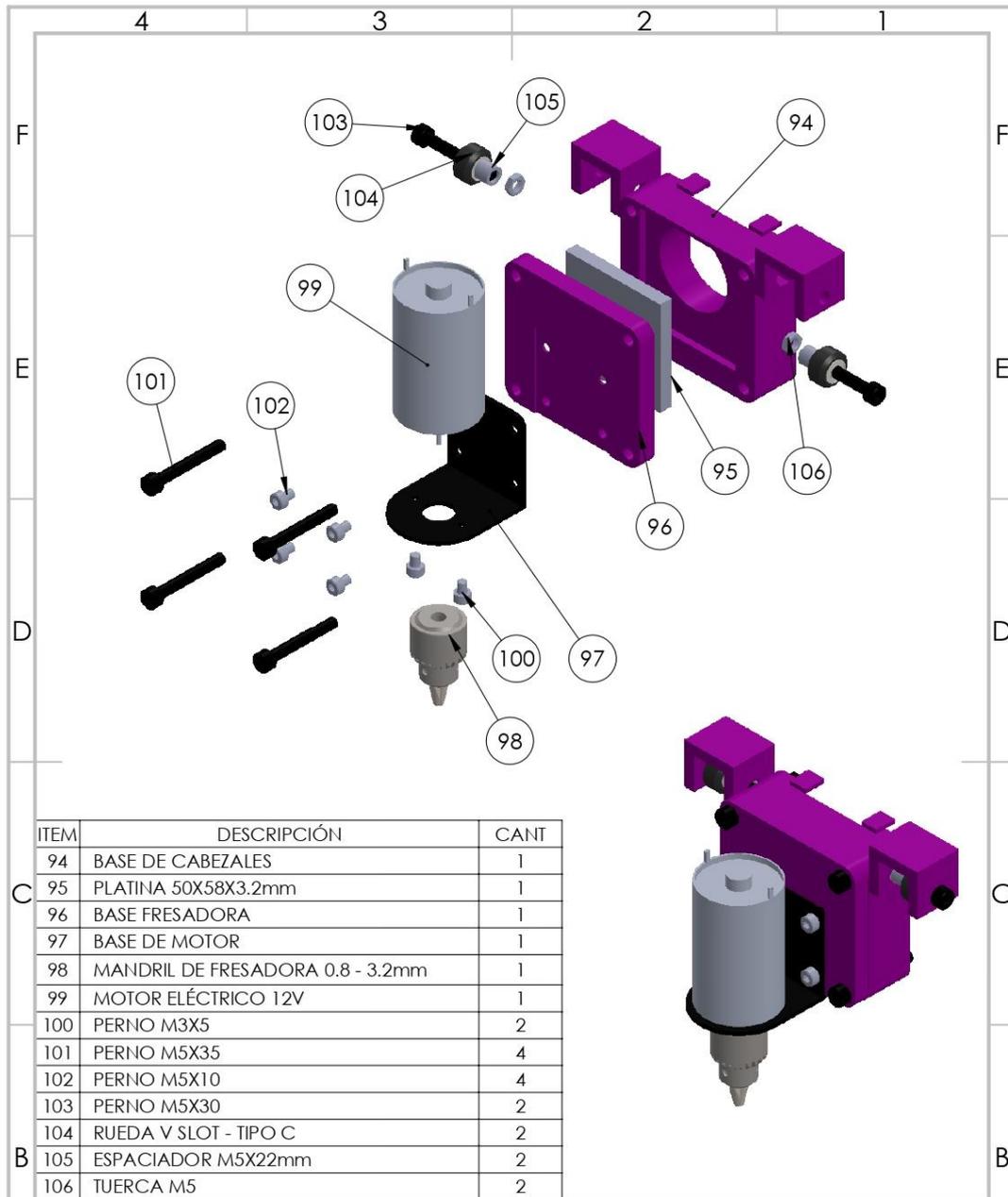


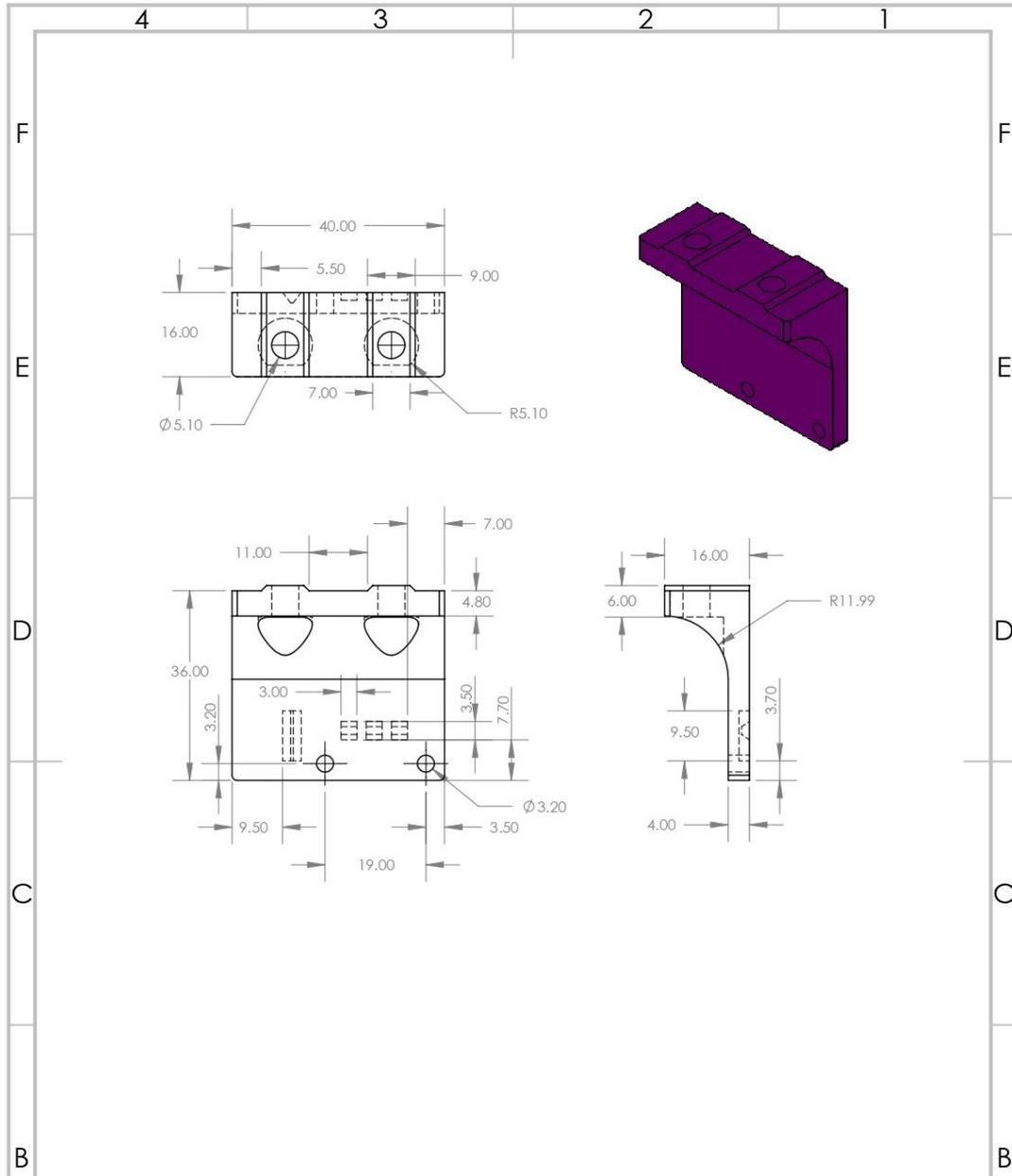


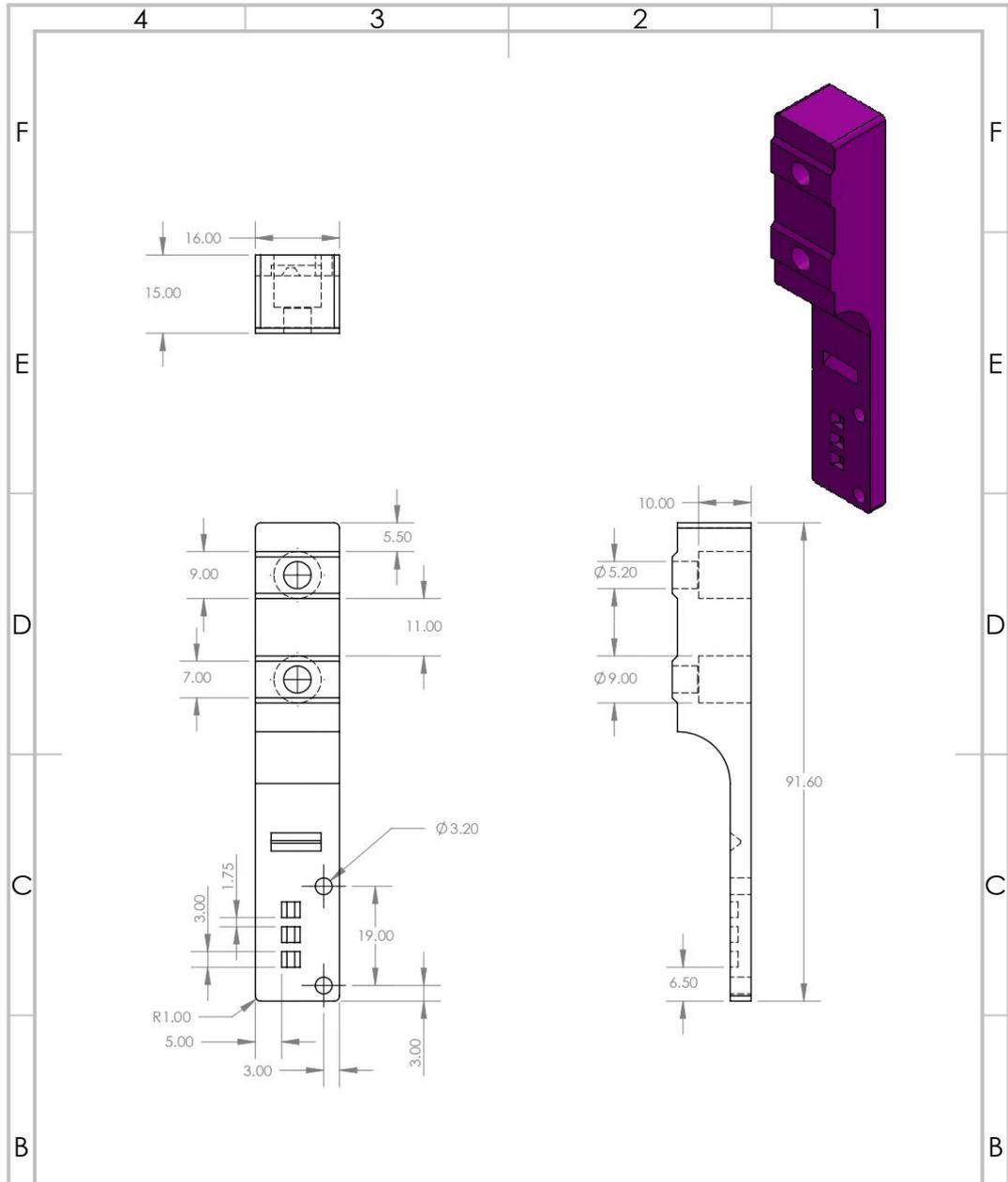


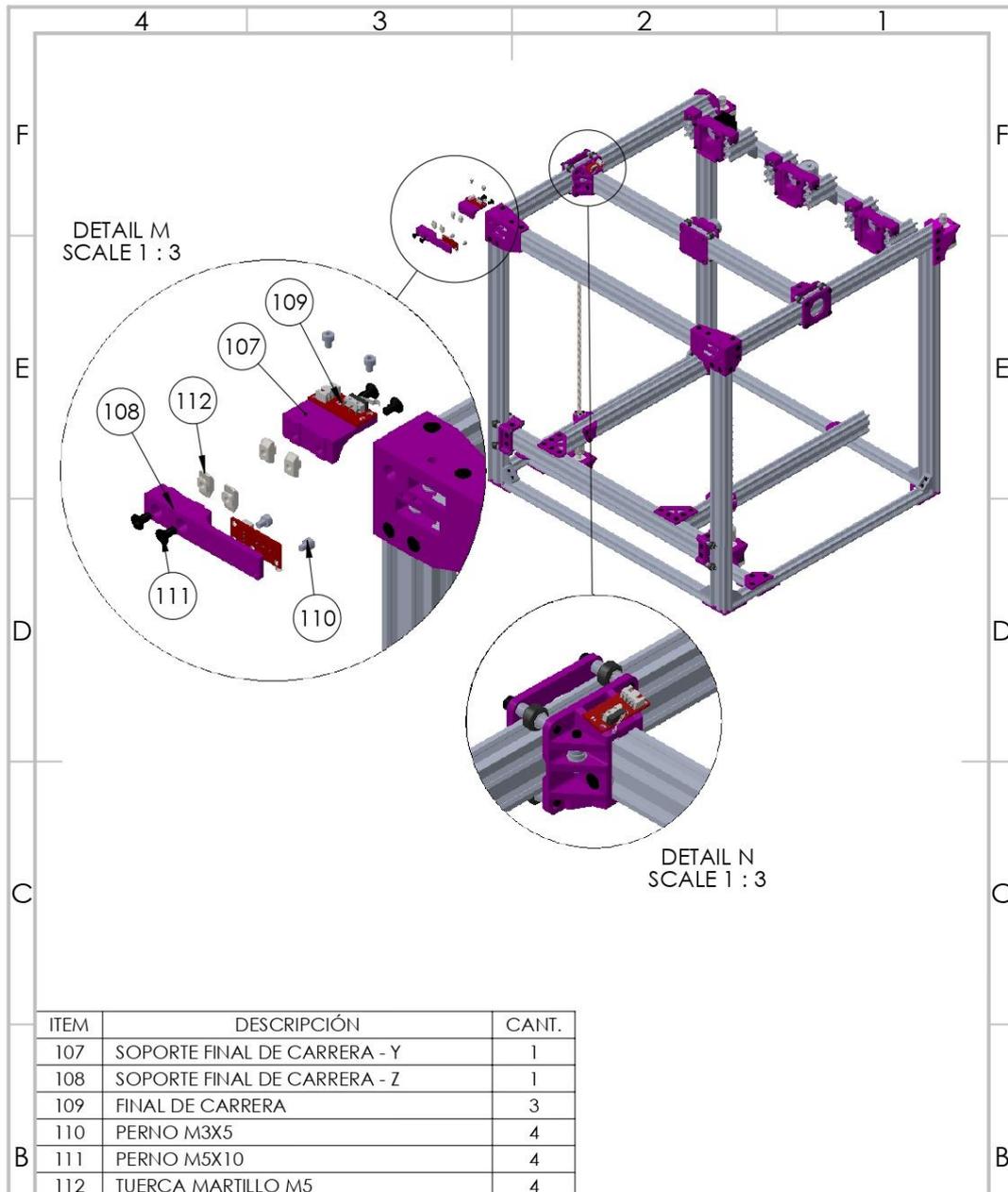


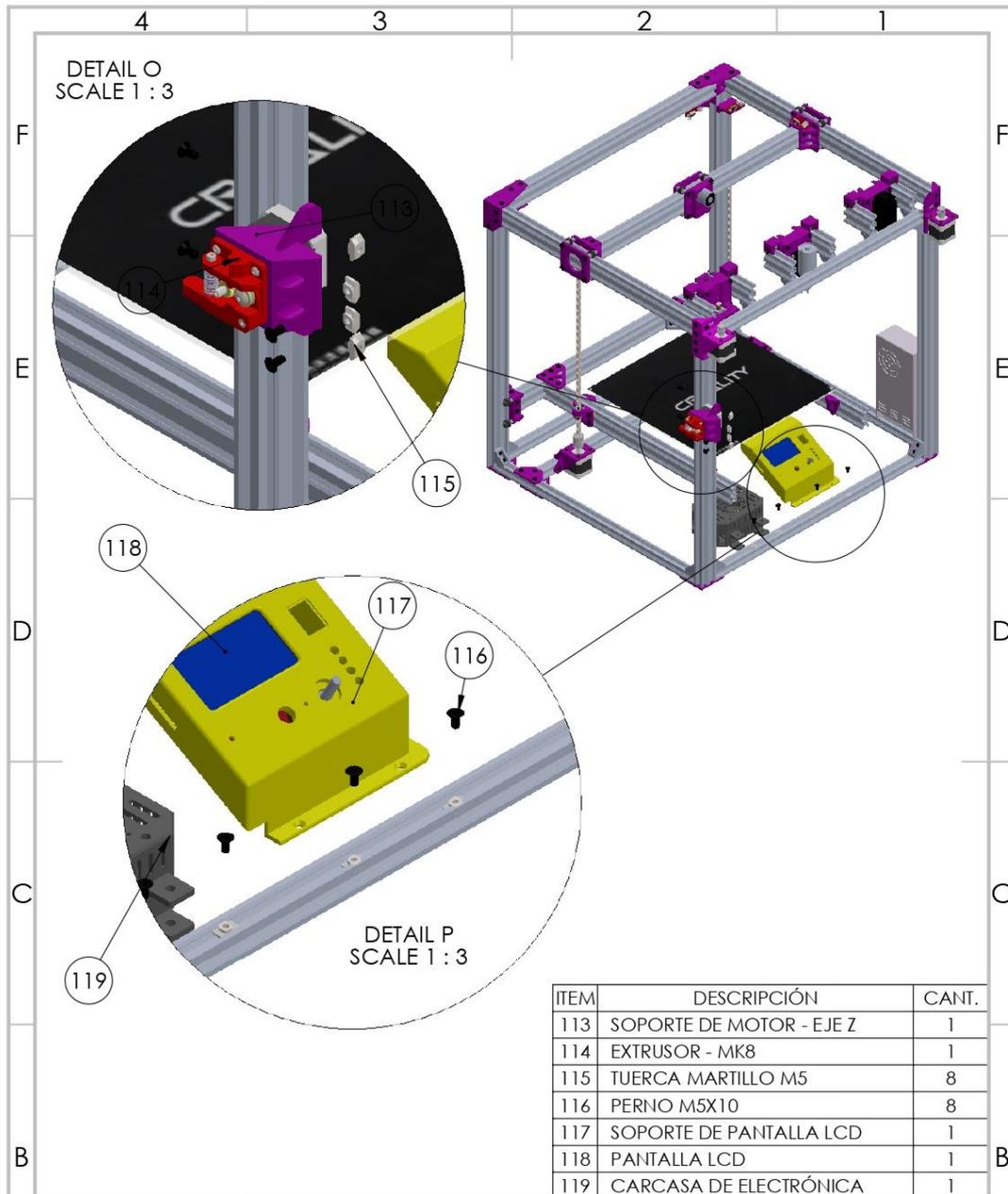




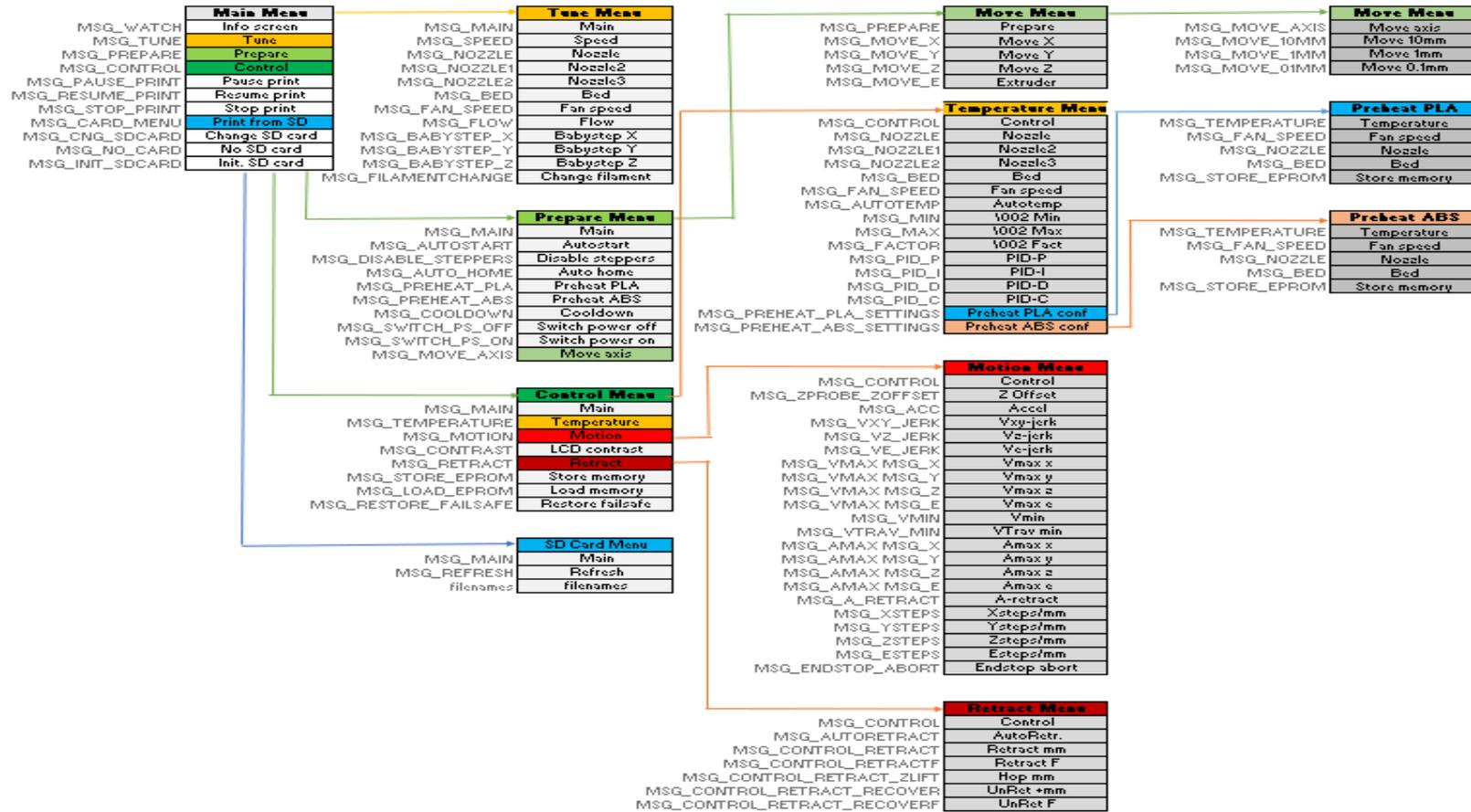








### Anexo 3. Diagrama de árbol Marlin



Anexo 4. Códigos G - Marlin

CODIGOS G / MARLIN											
ORDEN	CODIGO G	FUNCION	ORDEN	CODIGO G	FUNCION	ORDEN	CODIGO G	FUNCION	ORDEN	CODIGO G	FUNCION
1	G0	MOVIMIENTO LINEAL	11	G17	PLANOS DE ESPACIO DE TRABAJO	21	G32	DESACOPLAR EL TRINEO	31	G60	GUARDAR POSICIÓN ACTUAL
2	G1	MOVIMIENTO LINEAL	12	G19	PLANOS DE ESPACIO DE TRABAJO	22	G33	CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DELTA	32	G61	REGRESO A LA POSICIÓN GUARDADA
3	G2	MOVIMIENTO EN ARCO O CIRCULO	13	G20	UNIDADES EN PULGADAS	23	G34	ALINEACION AUTOMÁTICA DE STEPPERS Z	33	G76	CALIBRACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA SONDA
4	G3	MOVIMIENTO EN ARCO O CIRCULO	14	G21	UNIDADES MILIMÉTRICAS	24	G35	ASISTENTE EN TRANVIA	34	G80	CANCELAR EL MODO DEL MOVIMIENTO ACTUAL
5	G4	DELAY	15	G26	PATRON DE VALIDACIÓN DE MALLA	25	G38.2	OBJETIVO DE LA SONDA	35	G90	POSICIONAMIENTO ABSOLUTO
6	G5	ESTRIADO CUBICO DE BEZIER	16	G27	CABEZAL DE HERRAMIENTAS DE ESTACIONAMIENTO	26	G38.5	OBJETIVO DE LA SONDA	36	G91	POSICIONAMIENTO RELATIVO
7	G6	MOVIMIENTO PASO A PASO DIRECTO	17	G28	INICIO AUTOMÁTICO	27	G42	MOVER A LA COORDENADA DE LA MALLA	37	G92	ESTABLECER POSICIÓN
8	G10	RETRAER	18	G29	NIVELACIÓN DE LA CAMA	28	G53	MOVER EN COORDENADAS DE LA MÁQUINA	38	G425	CALIBRACIÓN DE JUEGO
9	G11	RECUPERAR	19	G30	SONDA Z ÚNICA	29	G54	SISTEMA DECOORDENADAS DEL ESPACIO DE TRABAJO			
10	G12	LIMPIAR BOQUILLA	20	G31	TRINEO DE MUELLE	30	G59.3	SISTEMA DECOORDENADAS DEL ESPACIO DE TRABAJO			

Anexo 5. Códigos M - Marlin

CODIGOS M // MARLIN											
ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CODIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN
1	M0	PARADA INCONDICIONAL	49	M109	ESPERE A QUE TERMINE LA TEMPERATURA	97	M226	ESPERE EL ESTADO DEL PIN	145	M510	MÁQUINA DE BLOQUEO
2	M1	PARADA INCONDICIONAL	50	M110	ESTABLECER NÚMERO DE LÍNEAS	98	M240	DISPARADOR DE CAMARÁ	146	M511	DESBLOQUEAR MÁQUINA
3	M3	EJE CW / LASER ENCENDIDO	51	M111	NIVEL DE DEPURACIÓN	99	M250	CONTRASTE LCD	147	M512	ESTABLECER CONTRASEÑA
4	M4	HUSILLO CCW / LASER ENCENDIDO	52	M112	PARADA DE EMERGENCIA	100	M256	BRILLO DE LA PANTALLA LCD	148	M524	ABORTAR IMPRESIÓN
5	M5	HUSILLO / LASER DESACTIVADO	53	M113	HOST KEEPALIVE	101	M260	ENVÍO I2C	149	M540	TOPES FINALES ABORTAN SD
6	M7	CONTROL DE REFRIGERANTE	54	M114	OBTENER LA POSICIÓN ACTUAL	102	M261	SOLICITUD I2C	150	M569	ESTABLECER EL MODO DE PASOS TMC
7	M9	CONTROL DE REFRIGERANTE	55	M115	INFORMACIÓN DE FIRMAWARE	103	M280	POSICIÓN DEL SERVO	151	M575	VELOCIDAD EN BAUDIOS EN SERIE
8	M10	CONTROL DE VACÍO/SOPLADOR	56	M117	ESTABLECER MENSAJE LCD	104	M281	EDITAR ÁNGULO DEL SERVO	152	M600	CAMBIO DE FILAMENTO
9	M11	CONTROL DE VACÍO/SOPLADOR	57	M118	IMPRESIÓN EN SERIE	105	M290	BABYSTEP	153	M603	CONFIGURAR EL CAMBIO DE FILAMENTO
10	M16	COMPROBACIÓN PREVISTA DELA IMPRESORA	58	M119	ESTADOS FINALES	106	M300	REPRODUCIR TONO	154	M605	MODO DEBOQUILLA DOBLE
11	M17	HABILITAR PASO A PASO	59	M120	HABILITAR TOPES FINALES	107	M301	ESTABLECER HOTEND PID	155	M665	CONFIGURACIÓN SCARA
12	M18	DESACTIVAR LOS MOTORES PASO A PASO	60	M121	DESHABILITAR TOPES FINALES	108	M302	EXTRUSIÓN EN FRIO	156	M666	ESTABLECER AJUSTES DE TOPE FINAL DELTA

ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CODIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN
13	M20	LISTA DE TARJETA SD	61	M122	DEPURACIÓN TMC	109	M303	AUTOAJUSTE PID	157	M666	ESTABLECER COMPENSACIONES DE TOPE FINAL DOBLE
14	M21	INICIALIZAR TARJETA SD	62	M125	PARK HEAD	110	M304	ESTABLECER PID EN CAMA	158	M672	ADVERTENCIA DE VELOCIDAD DE PRUEBA
15	M22	LIBERAR LA TARJETA SD	63	M126	BARICUDA 1 ABIERTO	111	M305	PARAMETROS DE TERMISTOR DE USUARIO	159	M701	CARGAR FILAMENTO
16	M23	SELECCIONAR ARCHIVO SD	64	M127	BARICUDA 1 CERRADO	112	M350	CONFIGURAR MICROPASOS	160	M702	DESCARGAR FILAMENTO
17	M24	INICIAR O REANUDAR LA IMPRESIÓN	65	M128	BARICUDA 2 ABIERTO	113	M351	ESTABLECER PINES DE MICROPASOS	161	M710	CONFIGURACIÓN DEL VENTILADOR DEL CONTROLADOR
18	M25	PAUSAR LA IMPRESIÓN 3D	66	M129	BARICUDA 2 CERRADO	114	M355	CONTROL DE LUZ DE LA CAJA	162	M808	MARCADOR DE REPETICIÓN
19	M26	ESTABLECER POSICIÓN SD	67	M140	ESTABLECER LA TEMPERATURA DE LA CAMA	115	M360	SCARA THETA A	163	M810	MACROS DE CODIGO G
20	M27	INFORME DEL ESTADO DE LA IMPRESIÓN SD	68	M141	ESTABLECER TEMPERATURA DE LA CAMARA	116	M361	SCARA THETA B	164	M819	MACROS DE CODIGO G
21	M28	INICIAR ESCRITURA EN SD	69	M143	ESTABLECER TEMPERATURA DEL LASER	117	M362	SCARA PSI A	165	M851	DESPLAZAMIENTO DE LA SONDA XYZ
22	M29	DETENER ESCRITURA EN SD	70	M145	ESTABLECER MATERIAL PREESTABLECIDO	118	M363	SCARA PSI B	166	M852	COMPENSACIÓN DE INCLINACIÓN DE LA CAMA
23	M30	ELIMINAR ARCHIVO SD	71	M149	ESTABLECER UNIDADES DE TEMPERATURA	119	M364	SCARA PSI C	167	M860	CODIFICADORES DE POSICIÓN I2C

ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CODIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN
24	M31	TIEMPO DE IMPRESIÓN	72	M150	ESTABLECER COLOR RGB	120	M380	ACTIVAR SELENOIDES	168	M869	CODIFICADORES DE POSICIÓN I2C
25	M32	SELECCIONAR E INICIAR	73	M154	INFORME AUTOMATICO DE POSICIÓN	121	M381	DESACTIVAR SELENOIDES	169	M871	CONFIGURACIÓN DE TEMPERATURA DE LA SONDA
26	M33	OBTENER UN CAMINO LARGO	74	M155	INFORME AUTOMATICO DE TEMPERATURA	122	M400	FINALIZAR MOVIMIENTOS	170	M876	MANEJAR RESPUESTA RÁPIDA
27	M34	CLASIFICACIÓN DE TARJETAS SD	75	M163	ESTABLCEER FACTOR DE MEZCLA	123	M401	IMPLEMENTAR SONDA	171	M900	FACTOR DE AVANCE LINEAL
28	M42	ESTABLECER ESTADO DE PIN	76	M164	GUARDAR MEZCLA	124	M402	SONDA DE ALMACENAMIENTO	172	M906	CORRIENTE DE MOTOR TMC
29	M43	PINES DE DEPURACIÓN	77	M165	ESTABLECER MEZCLA	125	M403	TIPO DE FILAMENTO MMU2	173	M907	ESTABLECER LA CORRIENTE DEL MOTOR
30	M43T	PASADORES DE PALANCA	78	M166	MEZCLA DE DEGRADADO	126	M404	ESTABLECER EL DIAMETRO DEL FILAMENTO	174	M908	ESTABLECER LOS PASADORES DE TRIMPOT
31	M73	ESTABLECER PROGRESO DE LA IMPRESIÓN	79	M190	ESPERE TEMPERATURA DE LA CAMA	127	M405	SENSOR DE ANCHO DE FILAMENTO ACTIVADO	175	M909	VALORES DE IMPRESIÓN DAC
32	M75	INICIAR TEMPORIZADOR DE TRABAJOS DE IMPRESIÓN	80	M191	ESPERE TEMPERATURA DE LA CAMARA	128	M406	SENSOR DE ANCHO DE FILAMENTO DESACTIVADO	176	M910	COMPROMETER DAC A EEPROM
33	M76	PAUSAR TRABAJO DE IMPRESIÓN	81	M192	ESPERE TEMPERATURA DE LA SONDA	129	M407	ANCHO DEL FILAMENTO	177	M911	CONDICIÓN DE PREAVISO DE TMC OT
34	M77	DETENER TEMPORIZADOR DE TRABAJOS DE IMPRESIÓN	82	M193	ESTABLECER LA TEMPERATURA DEL ENFRIADOR LASER	130	M410	PARADA RÁPIDA	178	M912	CLEAR TMC OT WARN

ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CODIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN
35	M78	ESTADÍSTICAS DE TRABAJOS DE IMPRESIÓN	83	M200	ESTABLECER DIAMETRO DE FILAMENTO	131	M412	EXCENTRICIDAD DEL FILAMENTO	179	M913	ESTABLECER LA VELOCIDAD DE UMBRAL HIBRIDA
36	M80	ENCENDIDO	84	M201	ESTABLECER ACELERACIÓN MÁXIMA DE IMPRESIÓN	132	M413	RECUPERACIÓN POR PERDIDA DE ENERGIA	180	M914	SENSIBILIDAD A GOLPES DE TMC
37	M81	APAGADO	85	M203	ESTABLECER VELOCIDAD MÁXIMA DE AVANCE	133	M420	ESTADO DE NIVELACIÓN DE LA CAMA	181	M915	CALIBRACIÓN DEL EJE Z DE TMC
38	M82	E ABSOUTO	86	M204	ESTABLECER ACELERACIÓN INICIAL	134	M421	ESTABLECER VALOR DE MALLA	182	M916	PRUEBA DE ADVERTENCIA TERMICA L6474
39	M83	E RELATIVO	87	M205	ESTABLECER CONFIGURACIÓN AVANZADA	135	M422	ESTABLECER MOTOR Z XY	183	M917	PRUEBA DE ADVERTENCIA DE SOBRECORRIENTE L6474
40	M84	DESACTIVAR LOS MOTORES PASO A PASO	88	M206	ESTABLECER COMPENSACIONES DE INICIO	136	M425	COMPENSACIÓN DE HOLGURA	184	M918	PRUEBA DE ADVERTENCIA DE VELOCIDAD L6474
41	M85	APAGADO POR INACTIVIDAD	89	M207	CONFIGURAR LAS RETRACCIONES DEL FIRMWARE	137	M428	COMPENSACIONES DE INICIO AQUÍ	185	M928	INICIAR REGISTRO SD
42	M92	ESTABLECER PASOS DE EJE POR UNIDAD	90	M208	RECUPERACIÓN DE FIRMWARE	138	M430	MONITOR DE POTENCIA	186	M951	EXTRUSORA DE ESTACIONAMIENTO MAGNETICA
43	M100	MEMORIA LIBRE	91	M209	ESTABLECER RETRACCIÓN AUTOMÁTICA	139	M486	CANCELAR OBJETOS	187	M993	FLASH SP/SPI
44	M104	ESTABLECER TEMPERATURA CALIENTE	92	M211	TOPES FIANLES DE SOFTWARE	140	M500	GUARDAR CONFIGURACIÓN	188	M994	FLASH SP/SPI
45	M105	INFORME DE TEMPERATURAS	93	M217	PARAMETROS DE INTERCAMBIO DE FILAMENTO	141	M501	RESTAURAR CONFIGURACIÓN	189	M995	CALIBRACIÓN DE PANTALLA TÁCTIL

ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CODIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN	ORDEN	CÓDIGO M	FUNCIÓN
46	M106	ESTABLECER LA VELOCIDAD DEL VENTILADOR	94	M218	ESTABLECER LA COMPENSACIÓN DEL HOTEND	142	M502	RESTABLECIMIENTO DE FABRICA	190	M997	ACTUALIZACIÓN DE FIRMAWARE
47	M107	VENTILADOR APAGADO	95	M220	ESTABLECER PORCENTAJE DE VELOCIDAD DE AVANCE	143	M503	CONFIGURACIÓN DE INFORMES	191	M999	STOP INICIAR
48	M108	ROMPER Y CONTINUAR	96	M221	ESTABLECER PORCENTAJE DE FLUJO	144	M504	VALIDAR EL CONTENIDO DE EEPROM	192	M7219	CONTROL MAX7219



Christopher Jair Carrasco Jiménez  
Universidad Nacional de Piura  
 <https://orcid.org/0000-0002-7038-9272>  
0532014033@alumnos.unp.edu.pe

Ingeniero Mecatrónico, Con experiencia en el desarrollo de máquinas a control numérico computarizado bajo el concepto de RepRap, Máquinas de corte y Grabado láser, Máquinas de fresado de PCB e Impresoras 3D en diferentes tipos de configuraciones.



César Arturo Niño Carmona  
Universidad Nacional de Piura  
 <https://orcid.org/0000-0002-0981-0822>  
cnino@unp.edu.pe

Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, Magister en Docencia Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial. Docente asociado adscrito 12 años al Departamento Académico de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Nacional de Piura, investigador en Sistemas on chip basado en FPGA, Redes Neuronales y jurado de tesis de pregrado. Renacyt Investigador con registro P0053210, en el grupo de María Rostworowski II.



Manuel Jesús Sánchez Chero  
Universidad Nacional de Frontera  
 <https://orcid.org/0000-0003-1646-3037>  
msanchezch@unf.edu.pe

Ingeniero de Sistemas, Magister en docencia universitaria, doctorado en educación, Docente ordinario en la categoría de Principal de la Universidad Nacional de Frontera, Investigador Renacyt con registro P0011796, en el grupo de Carlos Monge Medrano nivel III. Con amplia experiencia en proyectos de investigación en el área de Tecnología de la información. Con publicaciones en las áreas de Ingeniería y Educación.



Cecilia Lizeth Risco Ipanaqué  
Universidad Nacional de Frontera  
 <https://orcid.org/0000-0002-7738-5717>  
crisco@unf.edu.pe

Ingeniera Informática, Maestro en Administración con mención en Gerencia Empresarial, doctorando en Tecnología de Información y Comunicaciones en la Universidad Nacional de Piura, jefa de la Oficina de Tecnología de Información y Comunicaciones de la Universidad Nacional de Frontera.



Franklin Guerrero Campos  
Universidad Nacional de Frontera  
 <https://orcid.org/0000-0002-9284-9014>  
fguerrero@unf.edu.pe

Ingeniero de Sistemas, Magister en Docente Universitaria, Docente ordinario en la categoría de Auxiliar de la Universidad Nacional de Frontera de Sullana. Con amplia experiencia en Proyectos de Gerencia de TI, Administración de Bases de Datos, Analítica de Datos y Gestión de Procesos.



Percy Javier Celis Bravo  
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo  
 <https://orcid.org/0000-0002-8390-0295>  
pcelisb@unprg.edu.pe

Ingeniero en Computación e Informática, Magister en ingeniería de sistemas, Docente ordinario en la categoría de Auxiliar de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Con amplia experiencia en proyectos de educación virtual.



ISBN: 978-9942-603-54-8



9 789942 603548