

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



**“MÁQUINA CNC PARA PLACAS ELECTRÓNICAS, PROCESO DE
FRESADO Y TALADRADO”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

AUTOR: JORGE EDISON CRIOLLO MONTALVO

DIRECTOR: ING. FERNANDO VINICIO VALENCIA AGUIRRE. MSC.

Ibarra, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento al Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100365349-8		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Criollo Montalvo Jorge Edison		
DIRECCIÓN:	Chaltura – Antonio Ante – Imbabura		
EMAIL:	jecriollom@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062533175	TELÉFONO MÓVIL:	0991763997

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MÁQUINA CNC PARA PLACAS ELECTRÓNICAS, PROCESO DE FRESADO Y TALADRADO
AUTOR:	Criollo Montalvo Jorge Edison
FECHA:	10-07-2019
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre. MSc.

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización, es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de Julio del 2019



Firma

Nombre: Jorge Edison Criollo Montalvo

Cédula: 100365349-8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “MÁQUINA CNC PARA PLACAS ELECTRÓNICAS, PROCESO DE FRESADO Y TALADRADO”, presentado por el egresado JORGE EDISON CRIOLLO MONTALVO, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, julio de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "F. Valencia", is written over a horizontal line.

Ing. Fernando Valencia. MSc

DIRECTOR DE TESIS

Agradecimiento

A mis padres Edison Criollo y Grace Montalvo, quienes con sacrificio y amor me han apoyado en cada momento durante mi formación profesional y como persona.

A mis hermanos Katty y Joan Sebastian por apoyarme y brindarme su cariño en los momentos de necesidad.

A mis tutores Fernando Valencia, Víctor Erazo y Daniel Álvarez quienes con sus conocimientos y experiencias hicieron posible la culminación de este trabajo.

Jorge Criollo Montalvo

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios y a mi familia quienes han sido mi inspiración y ejemplo de superación, a la persona que me dio la vida Grace Susana Montalvo Vásquez quien me ha apoyado día a día, a mi padre Jorge Edison Criollo Ramos quien es un ejemplo a seguir y lucha todos los días por sacarnos adelante, a mis hermanos por estar siempre presentes dándome un aliento para poder seguir y no desmayar.

Jorge Criollo Montalvo

RESUMEN

El presente trabajo se refiere al diseño y construcción de un prototipo de máquina de control numérico computarizado (CNC) en la elaboración de placas electrónicas, para mejorar los tiempos de producción con respecto a los métodos convencionales en el prototipado de placas electrónicas.

Se empieza realizando el diseño mecánico con la ayuda de software especializado como SolidWorks. Se procede a la fabricación de las partes en una impresora 3D. Para la estructura se utiliza perfiles de aluminio tipo V de 32x32mm. El movimiento de los ejes se lo hace mediante un sistema Screwball que permite optimizar la potencia suministrada por el motor además de mejorar la precisión de movimiento. Finalmente se utiliza el módulo CNC Shield de Arduino, para el control de la máquina se utiliza el software bCNC ya que es de uso libre.

Obteniendo como resultado una máquina CNC capaz de realizar desbaste y perforación en placas electrónicas con mayor precisión, menor tiempo de trabajo además la reducción en la contaminación al no utilizar ácidos tóxicos.

ABSTRACT

This present work refers to the design and construction of a numerical computer control (CNC) prototype in the elaboration of electronic plates, in order to improve the production times with respect to the conventional methods in the prototyping of electronic plates

It starts by making the mechanical design with the help of specialized software such as SolidWorks. We proceed to the manufacture of the parts in a 3D printer. For the structure we used aluminum profiles type V of 32x32mm are used. The movement of the axes is done through a Screwball system that allows optimizing the power supplied by the motor in addition to improving the accuracy of movement. Finally, the Shield CNC module of Arduino is used, to control the machine the bCNC software is used since it is of free use

Obtaining as a result a CNC machine capable of performing roughing and drilling in electronic plates with greater precision, shorter working time plus the reduction in contamination by not using toxic acids.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIA	iii
CERTIFICACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación	2
1.4. Alcance	3
CAPÍTULO II	4
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1. ¿Qué es CNC?	4
2.2. Orígenes de CNC	4
2.3. Máquina CNC	5
2.4. Tipos de máquinas CNC	5
2.4.1. Fresadora CNC	6
2.4.2. Tipos de fresadoras	6
2.4.2.1. Fresadora horizontal	6
2.4.2.2. Fresadora vertical	7
2.4.2.3. Fresadora universal	8
2.4.3. Torno CNC	8
2.4.4. Enrutador CNC	9
2.4.5. Cortador de plasma CNC	9
2.4.6. Impresora 3D CNC	10
2.5. Máquina CNC de placas electrónicas	11
2.6. Componentes de la máquina CNC de placas electrónicas	12
2.6.1. Motor paso a paso	12

2.6.1.1.	Principio de funcionamiento.....	13
2.6.1.2.	Tipos de motores paso a paso de imán permanente.	14
2.6.1.3.	Secuencia para manejar motores P-P unipolares.....	15
2.6.1.3.1.	Secuencia de paso completo doble (normal).	15
2.6.1.3.2.	Secuencia de paso completo básico (ware drive).	16
2.6.2.	Arduino Uno.	17
2.6.3.	Driver A4988.....	17
2.6.4.	Arduino Sheld CNC.	18
2.6.5.	Fuente conmutada.	19
2.6.6.	Ejes de acero.	20
2.6.7.	Perfil de aluminio.	20
2.6.8.	Tornillo de bola.....	20
2.6.9.	Rodamiento lineal.....	21
CAPÍTULO III		22
3	Metodología	22
3.1.	Cálculos de los elementos mecánicos de la máquina CNC.	22
3.2.	Parámetros de diseño.	22
3.2.1.	Selección del husillo.....	22
3.2.2.	Velocidad de corte.	23
3.2.3.	Avance por diente.....	24
3.2.4.	Velocidad de avance.	24
3.2.5.	Sección de Viruta.....	25
3.2.6.	Volumen máximo admisible de viruta.....	26
3.2.7.	Memoria de cálculo.	29
3.2.8.	Cálculo de la fuerza de corte:	30
3.3.	Diseño de la máquina.	30
3.3.1.	Diseño estructural vertical para el eje Z.	31
3.3.1.1.	Traslación del eje Z con carga vertical.....	31
3.3.1.2.	Flechas o ejes guías coordenadas Z.....	33
3.3.1.3.	Cálculo del factor de seguridad	36
3.3.1.4.	Cálculo de la deformación del eje.	37
3.3.1.5.	Cálculo del tornillo de potencia coordenada Z.	38
3.3.2.	Diseño de la estructura horizontal de coordenada X.	38
3.3.2.1.	Traslación horizontal con la carga lateral.....	39
3.3.2.2.	Flechas o ejes guías coordenadas X.	41
3.3.2.3.	Cálculo del factor de seguridad.....	44

3.3.2.4.	Cálculo de la deformación del eje.....	45
3.3.2.5.	Cálculo del tornillo de potencia coordenada X.....	45
3.3.3.	Diseño de la estructura horizontal de coordenada Y.....	46
3.3.3.1.	Traslación horizontal con la carga lateral.....	46
3.3.3.2.	Flechas o ejes guías coordenadas Y.....	49
3.3.3.3.	Cálculo del factor de seguridad.....	52
3.3.3.4.	Cálculo de la deformación del eje.....	52
3.3.3.5.	Cálculo del tornillo de potencia coordenada Y.....	53
3.3.4.	Cálculo del torque para el tornillo de potencia de coordenadas X, Y y Z...	53
3.4.	Selección de materiales.....	55
3.4.1.	Selección de actuadores.....	55
3.4.1.1.	Motor DC.....	55
3.4.1.2.	Motor a pasos.....	55
3.4.1.3.	Servomotor.....	55
3.4.1.4.	Matriz de selección del motor paso a paso.....	56
3.4.1.5.	Selección del actuador más viable.....	56
3.5.	Diseño y modelado CAD de la máquina CNC.....	56
3.6.	Diseño y construcción e instalación del sistema de control automático.....	59
3.6.1.	Selección del controlador del sistema.....	59
3.6.1.1.	Arduino Uno.....	59
3.6.1.2.	ATmega164p.....	59
3.6.1.3.	Raspberry pi 3 modelo B.....	60
3.6.1.3.	Matriz de selección del controlador del sistema.....	60
3.7.1.	Selección del software de integración CAD/CAM.....	61
3.7.1.1.	bCNC.....	61
3.7.1.2.	Universal gcode sender.....	61
3.7.1.3.	boxzy.....	61
3.7.1.4.	Matriz de selección del software de integración CAD/CAM.....	62
3.7.1.5.	Selección más viable del software de integración CAD/CAM.....	62
3.8.	Diagrama del sistema.....	62
3.9.	Diagrama de desbaste.....	64
3.10.	Diagrama de taladrado.....	65
CAPÍTULO IV.....		66
4.	Pruebas y resultados.....	66
4.1.	Pruebas de la estructura mecánica.....	66
4.1.1.	Factor de seguridad.....	66

4.1.2. Desplazamiento.....	68
4.2. Construcción del prototipo mecánico.....	69
4.2.1. Construcción mecánica del eje Z.	69
4.2.2. Construcción mecánica del eje X y Y.	70
4.2.3. Ensamblaje de la estructura y unión de todos los sistemas de la máquina. .	72
4.3.3. Pruebas de mecanizado de placas electrónicas	73
CAPÍTULO V	75
5. Conclusiones y recomendaciones.	75
Conclusiones	75
Recomendaciones	76
Bibliografía	77
ANEXOS	79
Anexo 1: Códigos GRBL para la máquina CNC.	79
Anexo 2: Planos Mecánicos	80
Anexo 3: Manual de usuario	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fresadora CNC horizontal.....	7
Figura 2: Fresadora CNC Vertical.....	7
Figura 3: Fresadora CNC universal.....	8
Figura 4: Torno CNC.....	9
Figura 5: Enrutador CNC.....	9
Figura 6: Cortador de plasma CNC.....	10
Figura 7: Impresora 3D CNC.....	11
Figura 8: Máquina CNC de placas electrónicas.....	11
Figura 9: Motor paso a paso.....	12
Figura 10: Motor P-P de reluctancia variable.....	13
Figura 11: Motor P-P de imán permanente.....	14
Figura 12: Motor P-P de imán permanente bipolar.....	14
Figura 13: Motor P-P de imán permanente unipolar.....	15
Figura 14: Secuencia de paso completo doble (normal).....	16
Figura 15: Secuencia de paso completo básico (ware drive).....	16
Figura 17: Placa de arduino uno.....	17
Figura 18: Driver A4988.....	18
Figura 19: Arduino Sheld CNC.....	18
Figura 20: Fuente conmutada.....	19
Figura 21: Eje de acero.....	20
Figura 22: Perfil de aluminio.....	20
Figura 23: Tornillo de bola.....	21
Figura 24: Rodamiento lineal.....	21
Figura 25: Traslación vertical con carga vertical (Ecuaciones de cálculo).....	31

Figura 26: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.	33
Figura 27: Traslación horizontal con carga lateral (Ecuaciones de cálculo).....	39
Figura 28: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.	41
Figura 29: Traslación horizontal con carga normal (Ecuaciones de cálculo)	47
Figura 30: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.	49
Figura 31: Factor de seguridad viga eje x	66
Figura 32: Factor de seguridad viga eje y	67
Figura 33: Factor de seguridad viga eje z	67
Figura 34: Desplazamiento viga eje x.....	68
Figura 35: Desplazamiento viga eje y.....	68
Figura 36: Desplazamiento viga eje z.....	69
Figura 37: Ensamblaje del eje z.....	70
Figura 38: Ensamblaje total de ejes x y z.....	71
Figura 39: Ensamblaje total de eje y.....	72
Figura 40: Ensamblaje de la estructura de aluminio.....	72
Figura 41: Ensamblaje total de la máquina.	73
Figura 42: Mecanizado de placa electrónica	74
Figura 43: Placa electrónica terminada.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Área de trabajo	22
Tabla 2: Velocidad de corte.	24
Tabla 3: Normalización de las profundidades de corte o fresado.	26
Tabla 4: Volumen de viruta admisible al fresar.	27
Tabla 5: Valores de presión específica de corte.	29
Tabla 6: Valores estándar de rodamientos lineales Skf.....	36
Tabla 7: Carga individual de cada uno de los ejes.	54
Tabla 8: Tronillo de precisión tipo SFV.....	54
Tabla 9: Criterios de selección de actuadores.	56
Tabla 10: Elementos mecánicos diseñados.	57
Tabla 11: Cálculos de factor de seguridad para vigas.	60
Tabla 12: Cálculos de factor de seguridad para vigas.	62
Tabla 13: Cálculos de factor de seguridad para vigas.	67
Tabla 14: Cálculos de desplazamiento para vigas.....	69

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.

Antiguamente la fabricación de circuitos impresos para el diseño de sistemas mediante técnicas caseras, sin embargo, esta práctica ha ido disminuyendo con el tiempo. En los últimos años el tamaño de los componentes electrónicos se ha reducido en forma considerable, lo que implica menor separación entre pines para circuitos integrados de alta densidad. Teniendo también en consideración las actuales frecuencias de operación de los dispositivos, es necesaria precisión de mínimo $\pm 0.1\text{mm}$ en el proceso de impresión de la placa con la finalidad de garantizar estos valores de tolerancias mínimas.

Actualmente la elaboración de proyectos electrónicos a nivel de prototipos se realiza de forma manual lo cual conlleva a diversos problemas como el empleo de ácidos que son tóxicos y, además dañan el medio ambiente, también implica la inversión excesiva de tiempo ya que es un proceso extenso y con alto porcentaje de posibilidad de fallos.

Por medio de la implementación de una máquina CNC para la elaboración de placas electrónicas se espera lograr que se reduzca de manera considerable los tiempos de elaboración de circuitos electrónicos, además de reducir el uso de ácidos tóxicos empleados en el proceso manual de elaboración de placas electrónicas.

La aplicación de una máquina CNC ayuda a alcanzar una mejor eficiencia en la fabricación de circuitos impresos además de mejorar el grado de precisión.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General.

Implementar una máquina cnc para la elaboración de placas electrónicas por medio de desbaste y perforación.

1.2.2. Objetivos específicos

- Fundamentar los parámetros de diseño basados en el estado del arte referente a las máquinas CNC.
- Realizar el diseño mecánico y electrónico para la máquina CNC.
- Ensamblar la máquina CNC en base a los requerimientos de diseño.
- Realizar pruebas de funcionamiento y calibración del equipo CNC.

1.3. Justificación.

En la actualidad el uso de equipos CNC para la elaboración de placas electrónicas tiene una alta demanda principalmente en la mediana y gran industria, pero este tipo de máquinas tienen un costo muy elevado y cuentan con funciones innecesarias para la elaboración de prototipos a nivel universitario.

Por este motivo el diseño e implementación de una máquina CNC que contenga un área de trabajo de 100 x 100mm teniendo en cuenta que la mayoría de proyectos no requieren de un gran espacio de trabajo para la elaboración de placas electrónicas es considerado de gran importancia para el Laboratorio de Manufactura de la Universidad Técnica del Norte.

Este tipo de instrumental es de gran ayuda para realizar prototipos de circuitos electrónicos de nivel académico.

1.4. Alcance.

Se implementa un prototipo de máquina CNC para un área de trabajo de 100x100 mm además de una precisión de mínimo $\pm 0.1\text{mm}$.

Funcionará con una interfaz de software libre que sea capaz de interpretar código G además de poseer manejo automático y manual en una interfaz flexible al sistema operativo.

La máquina se limitará únicamente a realizar el ruteado y taladrado de cobre de la placa electrónica, además de únicamente servir para componentes de tipo montaje superficial (SMD) o de inserción (DIP) de dimensiones $3 \times 1.5\text{mm}$ como mínimo.

En lo posible se procurará utilizar componentes, tanto para la estructura mecánica como para la electrónica necesaria, fáciles de encontrar en el mercado de manera que sea sencillo el reemplazo de cualquier componente.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se contextualizará todo lo referente a máquinas CNC y materiales para poder crear un dispositivo para elaboración de placas electrónicas.

2.1. ¿Qué es CNC?

Las siglas CNC hacen referencia a Control Numérico Computarizado, lo que quiere decir control automatizado de una máquina de herramientas para la realización de determinados trabajos mecánicos.

2.2. Orígenes de CNC.

El CNC tuvo su origen a principio de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora. (Viwa, 2016)

En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina. (Viwa, 2016)

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: tornos, rectificadoras, eletroerosionadoras, máquinas de coser, etc. (Viwa, 2016)

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Estos códigos son un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado. (Viwa, 2016)

2.3. Máquina CNC.

Son equipos que cuentan con la tecnología de control numérico para realizar con precisión ciertas tareas, en especial trabajos de corte, moldeado o mecanizado de metales, maderas, plásticos y otros materiales. (Nelly, 2018)

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, se puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales. (Viwa, 2016)

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles. (Viwa, 2016)

En una máquina CNC la computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador manipule de forma manual las diferentes partes anteriormente mencionadas. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo. (Viwa, 2016)

2.4. Tipos de máquinas CNC

Se realiza una lista con los principales equipos y maquinaria que hoy es comúnmente dotada con tecnología de control numérico o tipos de máquinas CNC. (Nelly, 2018)

2.4.1. Fresadora CNC.

Las fresadoras, al igual que los tornos, son equipos que permiten realizar cortes en metales y otros materiales. Pero a diferencia, en la fresadora, la pieza a mecanizar permanece fija y la herramienta actúa por arranque de viruta o acepillado. (Nelly, 2018)

La tecnología de control numérico permite que las fresadoras tengan una amplia gama de funciones como “fresado frontal, fresado de resalte, roscado, taladrado y torneado”. (Nelly, 2018)

2.4.2. Tipos de fresadoras.

En la industria existe una gran variedad de tipos de fresadoras, sin embargo, las más comunes que se emplean para los procesos de manufacturación se detalla a continuación.

2.4.2.1.Fresadora horizontal.

La fresa se coloca sobre un eje horizontal, que se ubica en el husillo principal. Realizando trabajos de desbaste o acabado en línea recta, generando listones o escalos. La herramienta trabaja con su periferia como se muestra en la *figura 1*.

La limitación de esta máquina es la profundidad a la que puede trabajar la máquina, ya que ésta depende de la distancia de la periferia de la herramienta al eje de la máquina.

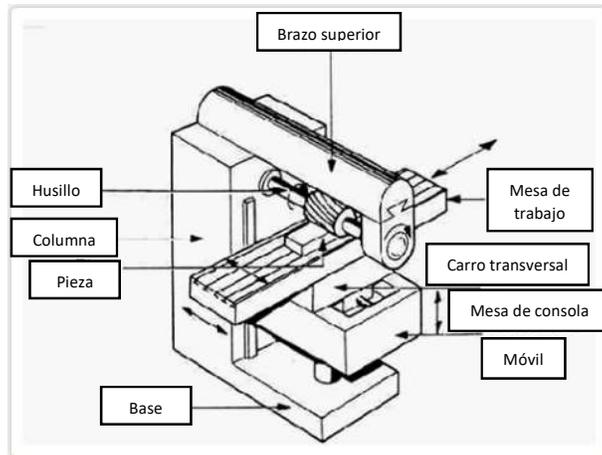


Figura 1: Fresadora CNC horizontal.

Fuente: (Cruz, 2015)

2.4.2.2. Fresadora vertical.

La fresa se coloca en un husillo vertical, éste al girar produce el movimiento principal. La herramienta trabaja con su periferia y con parte frontal como se muestra en la *figura 2*.

La limitación de esta máquina es la fuerza perpendicular a la que se puede someter la fresa por la mesa de trabajo, para lograr el avance.

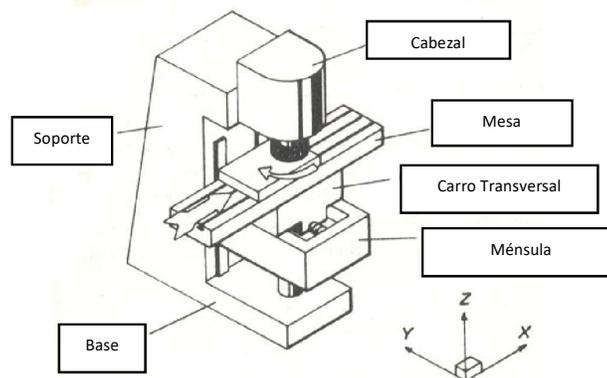


Figura 2: Fresadora CNC Vertical.

Fuente: (Boothroyd, 2008)

2.4.2.3. Fresadora universal.

Es la combinación de una fresa horizontal y una vertical. Tiene un brazo que puede utilizarse para ubicar fresas en un eje horizontal y un cabezal que permite las fresas verticales. Su limitación es el costo y el tamaño de las piezas que se puede trabajar.

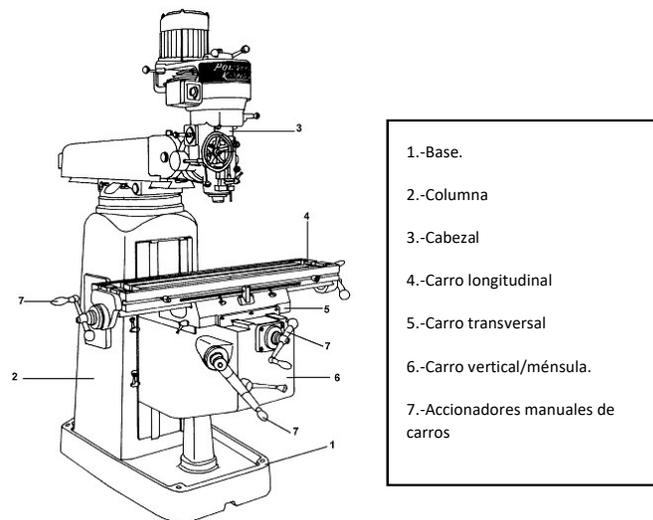


Figura 3: Fresadora CNC universal.

2.4.3. Torno CNC.

Los tornos son quizás los equipos que mayormente disponen de la tecnología de control numérico por computadora; son las máquinas que cortan metal a gran velocidad mediante movimientos giratorios. Los tornos CNC son capaces de hacer cortes y perforaciones de precisión casi de forma instantánea, utilizando herramientas y brocas sólidas bajo órdenes de algoritmos complicados, para producir partes que normalmente no se pueden cortar en tornos manuales. (Nelly, 2018)

Estas máquinas suelen incluir 12 portaherramientas y bombas de refrigeración para reducir el desgaste de la herramienta. Los tornos CNC tienen especificaciones similares de control y pueden leer el código G, así como el lenguaje de programación propio del fabricante. (Nelly, 2018)



Figura 4: Torno CNC.

2.4.4. Enrutador CNC.

Los enrutadores son equipos que permiten realizar trabajos de corte y mecanizado en una diversidad de materiales de grandes dimensiones, mediante el arrastre o enrutamiento hacia las herramientas de corte. El dispositivo es ideal para cortar materiales como láminas metálicas, maderas, plástico, e incluso, goma espuma y anime. Un enrutador CNC es ideal para la producción de perfiles y láminas a velocidades impresionantes, así como el mecanizado de materiales en alto relieve. (Nelly, 2018)



Figura 5: Enrutador CNC.

2.4.5. Cortador de plasma CNC.

Un cortador de plasma posee características similares y funciones de un enrutador, no obstante se diferencia en que este dispositivo no arrastra el material; si no que al trabajar con alta temperatura, va realizando cortes con el arco de plasma, de igual manera

él no requiere de su imponente dimensión y configuración, de igual manera se diferencia en que este dispositivo no arrastra el material; sino que la cortadora con arco de plasma (a altísimas temperaturas) se desplaza sobre la pieza. (Nelly, 2018)

Permite obtener superficies y acabados de alta precisión en metales densos, actuando por fundición en lugar de corte. (Nelly, 2018)



Figura 6: Cortador de plasma CNC.

2.4.6. Impresora 3D CNC.

Las impresoras 3D, aparatos que parecían sólo parte de la ciencia ficción hasta hace un par de décadas, operan bajo la funcionalidad del control numérico. Éstas inyectan pequeñas cantidades de material plástico mediante una o varias boquillas extrusoras que depositan plástico fundido capa por capa, hasta formar una pieza completa. (Nelly, 2018)

Este tipo de impresoras han encontrado un uso impresionante en la producción de réplicas de todo tipo de piezas, incluso prótesis médicas y órganos artificiales. (Nelly, 2018)

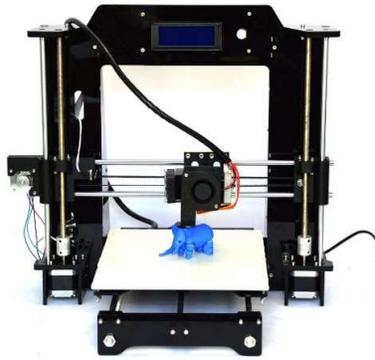


Figura 7: Impresora 3D CNC.

2.5. Máquina CNC de placas electrónicas.

Es una máquina que se encarga de realizar circuitos eléctricos automáticamente mediante el control numérico computarizado el cual le permite desplazarse en los tres ejes (X, Y, Z) en donde sus movimientos son accionados y controlados por motores paso a paso o servomotores conectados a ejes, dichas máquina puede realizar los procesos de desbaste, perforado, dispensación de la pasta de soldar y la colocación componentes electrónicos de tipo smd (dispositivos de montaje superficial) , tomando en cuenta que para cada uno de estos procesos tiene su propio cabezal de trabajo.



Figura 8: Máquina CNC de placas electrónicas.

Fuente: <https://cirqoid.com/>

2.6. Componentes de la máquina CNC de placas electrónicas.

Al realizar una previa investigación sobre máquinas CNC, se observa que mantiene un principio fundamental al de una máquina convencional, constando de los siguientes componentes.

2.6.1. Motor paso a paso.

Los motores P-P son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° . Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición, o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas está alimentada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y, por el contrario, quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas. (Fernández, 2018)



Figura 9: Motor paso a paso

Los motores P-P pueden ser usados en sistemas simples de control en lazo abierto. Estos son adecuados generalmente en sistemas que operan a bajas aceleraciones con cargas estáticas; el lazo cerrado puede ser esencial para aceleraciones elevadas, particularmente si involucran cargas variables. Si se sobrecarga un motor P-P en un sistema

de control de lazo abierto todo el conocimiento acerca de la posición del rotor se pierde y el sistema debe ser reiniciado. (Fernández, 2018)

2.6.1.1.Principio de funcionamiento.

Los motores P-P se presentan en dos variedades, de imán permanente y de reluctancia variable (existen también motores híbridos, que son indistinguibles de los de imán permanente desde el punto de vista del controlador). (Fernández, 2018)

Si el estator del motor tiene tres bobinas, conectadas típicamente como se puede observar en la *figura 10*, con un terminal común, C, a todas las bobinas, será probablemente un motor P-P de reluctancia variable. El conductor común se conecta habitualmente al borne positivo y las bobinas son alimentadas siguiendo una secuencia consecutiva. (Fernández, 2018)

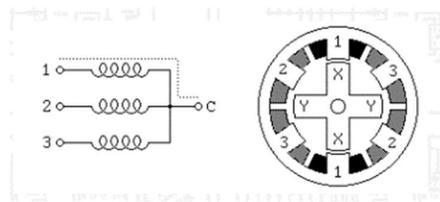


Figura 10: Motor P-P de reluctancia variable

Los motores P-P de imán permanente son los más usados en robótica. Básicamente, están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes, y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Así, las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser externamente manejada por un controlador. (Fernández, 2018)

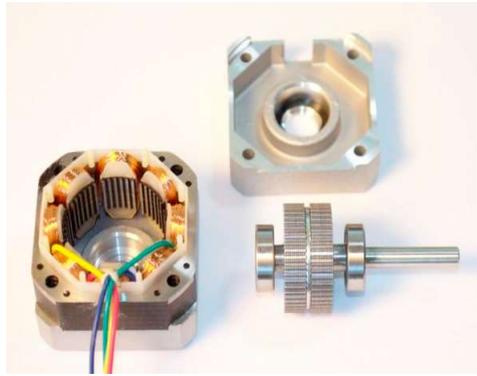


Figura 11: Motor P-P de imán permanente

2.6.1.2. Tipos de motores paso a paso de imán permanente.

a) Bipolar.

Estos tienen generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Esto hace que la controladora se vuelva más compleja y costosa. Su uso no es tan común como en el caso de los de tipo unipolar. (Fernández, 2018)

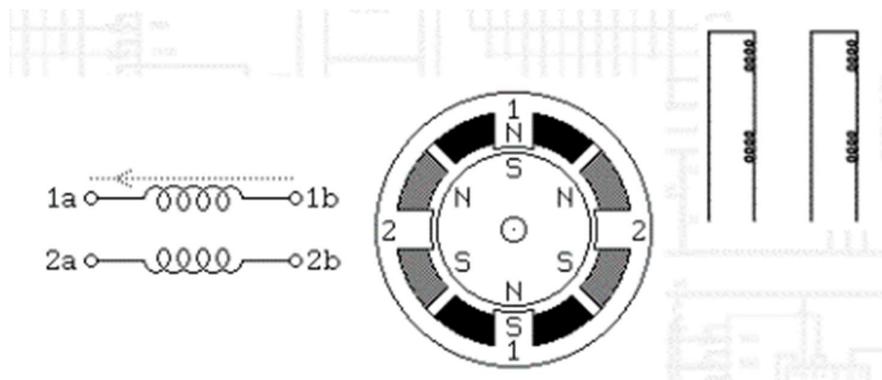


Figura 12: Motor P-P de imán permanente bipolar

b) Unipolar.

Estos motores suelen tener 8, 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. (Fernández, 2018)

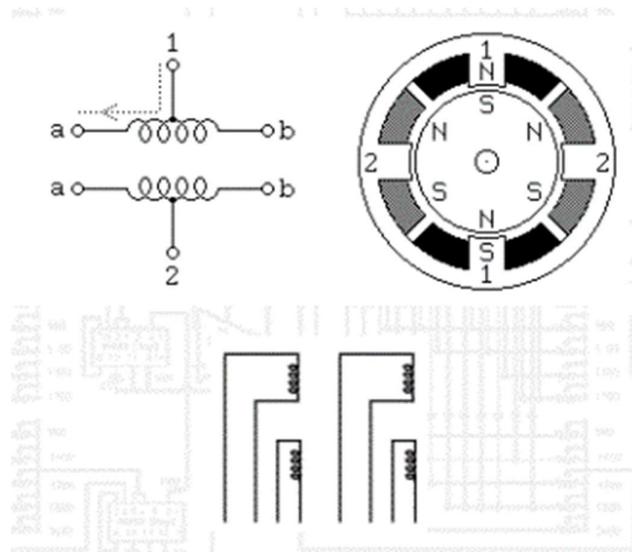


Figura 13: Motor P-P de imán permanente unipolar

2.6.1.3. Secuencia para manejar motores P-P unipolares.

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, que se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para invertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso. (Fernández, 2018)

2.6.1.3.1. Secuencia de paso completo doble (normal).

Consiste en tener activar dos bobinas al mismo tiempo, ambas consecutivas, de modo que el eje del motor se oriente hacia el punto medio de ambas bobinas. Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con ésta el motor

avanza un paso cada vez y, debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto par de paso y de retención. (Fernández, 2018)

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 14: Secuencia de paso completo doble (normal).

2.6.1.3.2. Secuencia de paso completo básico (ware drive).

Consiste en activar cada una de las bobinas de forma independiente, lo que provoca que el eje del motor se oriente hacia la bobina activa. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada el par de paso y de retención es menor. (Fernández, 2018)

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Figura 15: Secuencia de paso completo básico (ware drive).

2.6.2. Arduino Uno.

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, únicamente se necesita conectar a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador. (Jadiaz, 2016)



Figura 16: Placa de Arduino uno.

2.6.3. Driver A4988.

Son controladores que simplifican el manejo de motores paso a paso desde un procesador como es el Arduino.

Estos controladores permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.

La cual solo requiere dos salidas digitales una que indique el sentido de giro y la otra para comunicar al motor que se quiere que avance un paso. Además, permite realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso normal.

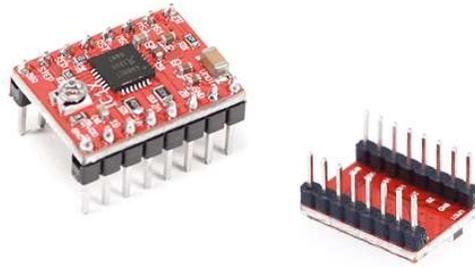


Figura 17: Driver A4988.

2.6.4. Arduino Sheld CNC.

El Arduino Sheld CNC es una pequeña placa de expansión que permite controlar 4 motores paso a paso fácilmente con un Arduino gracias a su formato Sheld. Soporte 4 controladores de potencia dispone de todas las conexiones necesarias para conectar interruptores de final de carrera, salidas y relé y diversos sensores. Es totalmente compatible con el firmware de control GRBL y puede ser utilizada con cualquier modelo de Arduino, aunque se recomienda utilizar un modelo del tipo Arduino Uno o Arduino Leonardo. (Geek, 2018)

Con esta placa se puede disponer de un sistema completo para montar máquinas CNC, contadora láser o cualquier otro sistema que necesite un control preciso con motores paso a paso. (Geek, 2018)

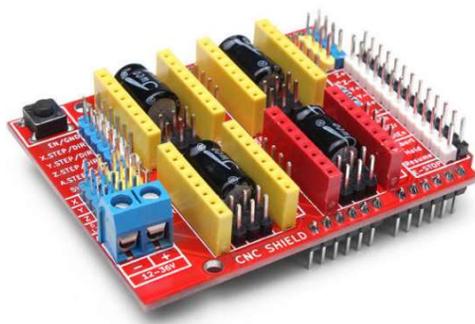


Figura 18: Arduino Sheld CNC

Características.

- a) Compatible con GRBL 0.8c. (Firmware Open Source para Arduino que convierte G-code a instrucciones para motores PAP).
- b) Soporte para 4 ejes (X, Y, Z, A).
- c) 2 conexiones para finales de carrera para cada eje (6 en total).
- d) Salida “Spindle enable” y “direction”.
- e) Salida “Coolant enable”
- f) Compatible con Pololu A4988 y DRV8825.
- g) Jumper para control de micro-stepping (Los controladores como DVR8825 soportan hasta 1/32 para más precisión).
- h) Los motores pueden ser conectados con bornes tipo Molex de 4 pines.
- i) Alimentación: 12-36V DC. (Dependencia de los controladores utilizados).

2.6.5. Fuente conmutada.

Una fuente de alimentación conmutada es un dispositivo el cual es usado para suministrar energía a equipos electrónicos teniendo en cuenta que este equipo entrega un rango de voltajes de salida para dicha alimentación. (Pérez, 2012)



Figura 19: Fuente conmutada.

2.6.6. Ejes de acero.

Es una pieza que ayuda en el desplazamiento de un elemento o un grupo de piezas lo que puede ocurrir al trabajar en una rueda o un engranaje.



Figura 20: Eje de acero.

2.6.7. Perfil de aluminio.

Los perfiles de aluminio son subproductos normalmente utilizados para propósitos estructurales, los perfiles que se utilizan en este proyecto son de la referencia “1854” del catálogo de tubos cuadrados de la empresa Cedal. (Cedal Aluminio, 2016)

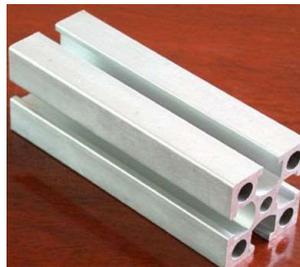


Figura 21: Perfil de aluminio.

2.6.8. Tornillo de bola.

Los tornillos de bolas recirculantes, están formados por un tornillo y una tuerca con caminos de rodadura de sección circular, labrados a lo largo de una trayectoria en forma de hélice; en la tuerca, dichos caminos de rodadura están dispuestos de tal manera que las esferas recirculan continuamente entrando y saliendo de zona de carga en circuitos definidos. Estos componentes están diseñados para soportar exclusivamente, fuertes cargas de empuje bidireccional. (Urquiza, 2018)



Figura 22: Tornillo de bola.

2.6.9. Rodamiento lineal.

Los rodamientos lineales son elementos de rodadura para movimiento de traslación. Estos rodamientos son guías lineales para la absorción de fuerzas desde todos los sentidos transversales y momentos longitudinales y en construcciones especiales, también de pares de giro en torno a todos los ejes. Las sistemáticas de sellado con rodamientos lineales están previstas exclusivamente para guiar y posicionar, y utilizarse en máquinas.



Figura 23: Rodamiento lineal.

CAPÍTULO III

3 Metodología

3.1. Cálculos de los elementos mecánicos de la máquina CNC.

Para poder iniciar con el diseño de las partes mecánicas se toma en cuenta la construcción de la máquina y en que materiales va a trabajar ya que una máquina CNC puede tener múltiples opciones de trabajo, y dimensiones pueden ser extremadamente pequeñas o muy grandes para eso se considera los siguientes parámetros:

3.2. Parámetros de diseño.

El tamaño máximo de las baquelitas que se puede adquirir son de 200 x 200 mm, por consiguiente, el área de trabajo de la máquina es de la misma dimensión anteriormente mencionada.

Espacio de trabajo.

Se toma en cuenta el tamaño máximo antes mencionado se establece la siguiente área de trabajo.

Tabla 1: Área de trabajo

Recorrido en eje X	250mm
Recorrido en eje Y	200mm
Recorrido en eje Z	70mm

3.2.1. Selección del husillo.

Se requiere un husillo que sea capaz de realizar una fuerza de corte suficiente para el proceso de fresado en baquelitas, las cuales están compuestas de una lámina de cobre, donde se realiza el desbaste y así obtener las pistas de los circuitos impresos.

3.2.2. Velocidad de corte.

Para realizar los cálculos de la fuerza necesaria en el husillo se requiere tener en cuenta el tipo de la herramienta de corte, para este proyecto la medida de la fresa es de 3mm de diámetro tipo lanza, debido siendo las más adecuadas para el trabajo a realizarse.

Para la velocidad de corte se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 3.1

$$N = \frac{1000 * Vc}{\pi * D}$$

Donde:

$Vc =$ *Velocidad de corte*

$D =$ *Diámetro de la fresa(mm)*

$N =$ *Número de revoluciones por minuto (R.P.M.)*

Se utiliza una fresa de tipo punta de lanza, para grabar será utilizado el catálogo proporcionado por *Vinil Shop* en donde muestra las velocidades de corte de cada una de las herramientas de corte, ver *Anexo 1*.

Tabla 2: Velocidad de corte.

Materiales	Velocidad (m/min)	Velocidad Ad (mm/diente)	Observaciones
Aluminio	200/400	0.03/0.10	Petróleo o RGV-Copos suaves, adherentes
Aleac. Aluminio	200/400	0.03/0.10	Emulsión de Aceite de Corte Copos más secos.
Latones	150/300	0.02/0.10	Emulsión de Aceite de Corte
Bronces-Zinc	100/150	0.002/0.10	Emulsión de Aceite de Corte
Plásticos (Baquelitas)	50/100	0.04/0.20	Aire
Termoplásticos	100/50	0.04/0.20	Agua Vaporizada
Acero-Inox	90	0.002/0.02	Emulsión de Aceite de Corte
Madera	60/100	0.02/0.12	Aire

Fuente: (Vinil, 2017)

Para el presente proyecto se opta por utilizar una velocidad de entre 50 y 100m/min para plásticos (baquelita) como se observa en la *tabla 2*.

3.2.3. Avance por diente.

El avance por diente se realiza principalmente para prolongar la vida útil de la herramienta. Es necesario seleccionar un avance por diente adecuado ya que este no debe ser muy bajo debido a que ocasiona un desgaste prematuro de los dientes de la herramienta de corte, y si el avance de corte es muy alto no se cuenta con suficiente desahogo de viruta, y por eso en la *tabla 2* se muestra el avance de diente para cada uno de los materiales en los que puede ser aplicado.

3.2.4. Velocidad de avance.

La velocidad de avance está muy ligada a la herramienta de corte, la profundidad de corte y el acabado deseado, además para evitar que la máquina se sobrecaliente o la

herramienta sufra un desgaste prematuro, se debe calcular la velocidad de avance admisible.

Para el cálculo de la velocidad de avance se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 3.2

$$s' = Sz * z * N$$

Donde:

$$s' = \text{Velocidad de avance } \left(\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right)$$

$$Sz = \text{Avance por diente (mm)}$$

$$z = \text{Número de dientes de la fresa}$$

$$N = \text{Número de revoluciones por minuto (R.P.M.)}$$

3.2.5. Sección de Viruta.

Es la relación que existe entre el avance por diente de la fresa y la profundidad de corte se muestra en la (Ec. 3.3), esto también depende del tipo de operación.

Para la selección de la profundidad de fresado se he utilizado la *tabla 3*.

Ecuación 3.3

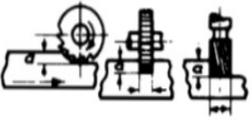
$$Sv = a * Sz$$

Donde:

$$Sv = \text{Sección de viruta (mm}^2\text{)}$$

$$Sz = \text{Avance por diente (mm)}$$

Tabla 3: Normalización de las profundidades de corte o fresado.

	Profundidad de fresado <<a>> y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con paso único	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1.- Fresas cilíndricas	Todo el ancho de la fresa a = 3mm	Todo el ancho de la fresa, a = 5-8 mm	Todo el ancho de la fresa, a = 1mm
2.- Fresas frontales	Igual al diámetro de Fresa, a = 3mm	La mitad del diámetro de la fresa, a = 5mm	Igual al diámetro de la fresa, a = 1mm
3.- Fresas frontales de mango	Igual al diámetro de Fresa, a = 2mm	La mitad del diámetro de la fresa, a = 4mm	Igual al diámetro de la fresa, a = 0.5mm
4.- Fresas de disco	a = Ancho de la fresa como máximo	a = A la mitad del ancho de la fresa	a = 5% del ancho de la fresa
5.- Fresas de forma	a = Todo el perfil en pequeñas formas	a = 1, Pasado 45% altura 2,45%	a = 10% de la altura de su forma

Fuente: (Casillas, 1998)

Para el presente análisis se considera una fresa cilíndrica en fresado por desbaste

3.2.6. Volumen máximo admisible de viruta.

Como se sabe el proceso es un fresado tangencial, el volumen de viruta se expresa en cm^3 por minuto y se determina con la siguiente expresión.

Ecuación 3.4

$$V = \frac{a * b * s'}{1000}$$

Donde:

$$V = \text{Volumen máximo posible de viruta} \left(\frac{cm^3}{min} \right)$$

$a =$ Profundidad de corte o fresado (mm)

$b =$ Anchura de corte o diámetro de la fresadora (mm)

$$s' = \text{Velocidad de avance} \left(\frac{mm}{min} \right)$$

Además, con la (Ec. 3.5) se puede obtener la potencia de la máquina ya que el volumen de viruta va ligado con la potencia de la máquina.

Ecuación 3.5

$$V = V' * P = \frac{cm^3}{min}$$

Donde:

$$V' = \text{Cantidad admisible en } \frac{cm^3}{Kw * min}$$

$P = \text{Potencia de la máquina en Kw}$

Los valores de la cantidad admisible V' se tiene en la *tabla 4*.

Tabla 4: Volumen de viruta admisible al fresar.

Volumen V' admisible de virutas en $cm^3 * kW \text{ min}$ de potencia de la máquina						
Clase de fresa	Acero sin alear St 34 St 50	Acero sin alear St 60 St 70	Acero aleado, por ejemplo 31 Ni Cr 14	Hierro fundido (semiduro)	Latón y similar o tumbaga	Metales ligeros
Fresa cilíndrica	12	10	8	22	30	60
Fresa frontal	15	12	10	28	40	75

Fuente: (Gerling, 2006)

Para el presente análisis se utiliza una fresa cilíndrica en metales ligeros.

Presión de corte.

Establece una relación entre la fuerza de corte esta es directamente proporcional a la sección de la viruta deformada dada por una constante K_s , y la fuerza de corte. Para realizar su cálculo se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 3.6

$$F_c = K_s * S_v$$

Donde:

F_c = Fuerza de corte

S_v = Sección de viruta

K_s = Presión de corte

Ecuación 3.7

$$K_s = K_{s0} * e^{-z}$$

K_{s0} = Presión de corte específica

e =

Ecuación 3.8

$$e = \left(\frac{s'}{z * N} \right) * \left(\sqrt{\frac{a}{b}} \right)$$

N = Revoluciones por minuto (R. P. M.)

a = Profundidad de corte o fresado (mm)

b = Anchura de corte o diámetro de la fresa (mm)

s' = Velocidad de avance $\left(\frac{mm}{min} \right)$

A continuación, se presenta la *tabla 5*, donde se observa los valores de presión específicos de corte referenciales, de acuerdo al material de trabajo.

Tabla 5: Valores de presión específica de corte.

Materiales	$K_{so} \text{ da } \frac{N}{\text{mm}^2}$	z
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2014)

3.2.7. Memoria de cálculo.

Datos:

Material: Plástico (baquelita)

D = Diámetro de la fresa = 3 mm de tipo punta de lanza

b = Ancho de fresado

z = Número de dientes = 2

V_c = Velocidad de corte de acuerdo a la *tabla 2* = 100(m/min)

S_z = 0.2 mm se escogió de la *tabla 2* por ser plástico (baquelita)

A = 2 mm de acuerdo a la *tabla 3*

$$V' = 70 \frac{\text{cm}^3}{\text{kw} * \text{min}} \text{ según la tabla 4}$$

Cálculo de la velocidad de corte:

$$N = \frac{V_c * 1000'}{\pi * d} = \frac{70 * 1000}{\pi * 3} = 7427 \text{ RPM}$$

Cálculo de la velocidad de avance:

$$s' = Sz * z * N = 0.2 * 2 * 16000 = 3200 \text{ mm/min}$$

Cálculo de la sección de la viruta:

$$Sv = a * Sz = 2 * 0.2 = 0,4 \text{ mm}^2$$

Cálculo de la cantidad máxima admisible de viruta:

$$V = \frac{a * b * s'}{1000} = \frac{2 * 0,6 * 2122,066}{1000} = 19,2 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Cálculo de la potencia del cabezal:

$$P = \frac{V}{V'} = \frac{19,2}{75} = 0,256 \text{ Kw}$$

Debido a que en el mercado no existe un husillo de 256 W, se optó por la selección de uno de 400 W, ya que es el valor más próximo.

3.2.8. Cálculo de la fuerza de corte:

$$e = \left(\frac{s'}{z * N} \right) * \left(\sqrt{\frac{a}{b}} \right) = \left(\frac{3200}{2 * 8000} \right) * \left(\sqrt{\frac{2}{3}} \right) = 0,231 \text{ mm}$$

$$ks = kso * e^{-z} = \left(19 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) * (0,231)^{-0,3} = 35,625 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fc = ks * Sv = \left(36,35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) * (0,4 \text{ mm}^2) = 14,25 \text{ N}$$

3.3. Diseño de la máquina.

Para realizar el diseño se realizó en secciones, cada uno de los movimientos los cuales son en el eje X, Y, Z.

3.3.1. Diseño estructural vertical para el eje Z.

La estructura del eje z se desplaza de manera vertical con el objetivo de insertar la herramienta en el material a trabajar, su principal función es regular la altura de la fresa.

3.3.1.1. Traslación del eje Z con carga vertical.

Para el diseño se considera que la carga esta aplicada en la misma dirección del recorrido tal como se muestra en la *Figura 25* y verificar que la orientación de las cargas sea la correcta, para esto se puede utilizar las siguientes ecuaciones.

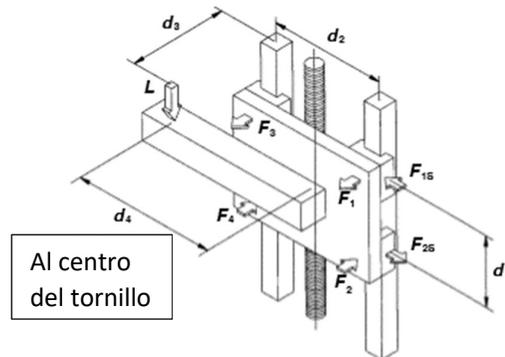


Figura 24: Traslación vertical con carga vertical (Ecuaciones de cálculo)

Las ecuaciones para el cálculo de fuerzas en el eje vertical Z son las siguientes:

Ecuación 3.9

$$F1 = F3 = \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1}\right)$$

Ecuación 3.10

$$F2 = F4 = -\frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1}\right)$$

Ecuación 3.11

$$F1s = F3s = \frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right)$$

Ecuación 3.12

$$F2s = F4s = -\frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right)$$

Ecuación 3.13

$$L = W + Fc$$

Donde:

Fuerza ejercida por el cabezal de la herramienta (Cabezal más base).

$$W = 0.89Kg = (8.731N)$$

Fuerza de corte

$$Fc = 13,17 N$$

$$L = (W * g) + Fc = \left(0.89Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + (13.17 N) = 21.901N$$

d1 = 50 mm

d2 = 47 mm

d3 = 47 mm

d4 = 0 mm, esto se debe a que la posición de la carga (L) del cabezal de la herramienta se localiza en el centro y esta paralela al tornillo.

Aplicando los valores obtenidos para ser remplazados en las *ecuaciones (3.9), (3.10), (3.11) y (3.12)*, lo que da como resultado los siguientes valores.

$$F1 = F3 = \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1}\right) = \frac{21.901}{2} * \left(\frac{47}{50}\right) = 10.293 N$$

$$F2 = F4 = -\frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1}\right) = -\frac{21.901}{2} * \left(\frac{47}{50}\right) = -10.293 N$$

$$F1s = F3s = \frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right) = \frac{21.901}{2} * \left(\frac{0}{47}\right) = 0 \text{ N}$$

$$F2s = F4s = -\frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right) = \frac{21.901}{2} * \left(\frac{0}{50}\right) = 0 \text{ N}$$

3.3.1.2. Flechas o ejes guías coordenadas Z.

Los ejes son elementos primordiales en esta coordenada, con la fuerza $F1=10.293$ N y $F2 = -10.293$ N, calculadas en punto anterior con lo cual se procede a realizar el diseño de los dispositivos con $L1 = 80$ mm, $L2 = 50$ mm, $L3 = 10$ mm, siendo aplicado los diagramas de fuerza de la *figura 26*.

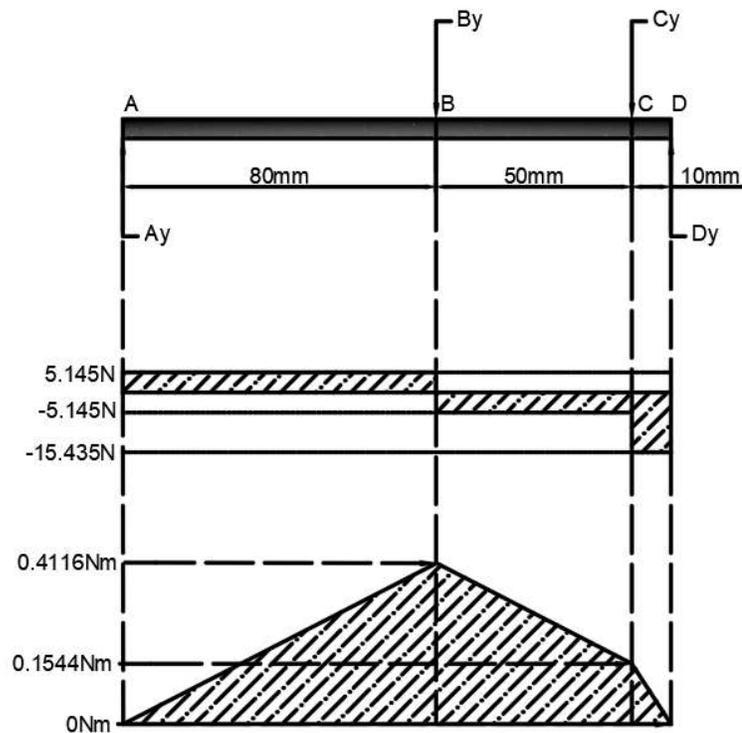


Figura 25: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.

Ecuación 3.14

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ay + By + Cy - Dy = 0$$

$$Ay = By + Cy - Dy$$

$$Ay = 10.29 + 10.29 - Dy$$

$$Ay = 5.145N$$

Ecuación 3.15

$$\sum MA = 0$$

$$(By * 80) + (Cy * 130) - (Dy * 140) = 0$$

$$Dy = \frac{(10.29 * 80) + (10.29 * 130)}{140}$$

$$Dy = 15.435N$$

Ecuación 3.16

$$M1 = Ay * 80 = 5.145 * 80 = 411.6 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.17

$$M2 = M1 - ((Ay - By) * 50) = 411.6 - (5.145 * 50) = 154.35 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.18

$$M3 = M2 - (Dy * 10) = 154.35 - (15.435 * 10) = 0 \text{ Nmm}$$

Cálculo de flechas o ejes guías

Ecuación 3.19

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

Ecuación 3.20

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

Ecuación 3.21

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

Donde:

σ_{Max} = Esfuerzo normal máximo.

M = Momento flector máximo.

S = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica.

Sy = Resistencia a la fluencia del material.

Para el diseño de esta sección se considera un factor de seguridad mínimo de $n = 2$.

El acero equivale de la resistencia del material es de:

$$Sy = 240 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{n} = \frac{240 * 10^6 \frac{N}{m^2}}{2} = 150000000 \frac{N}{m^2} = 150 \frac{N}{mm^2}$$

Del análisis de fuerzas y momentos flectores de la *figura 26*, se tiene un $M = 0.4116 \text{ Nm} = 411.6 \text{ Nmm}$ o de la *Ecuación 3.16*, siendo aplicado en la *Ecuación 3.19* y dándonos un resultado de:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{411.6 \text{ Nmm}}{150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 2.744 \text{ mm}^3$$

Mediante la ecuación 3.21, se obtiene un diámetro del eje de:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 3.50 \text{ m}^3}{\pi}} = 3.05 \text{ mm}$$

De acuerdo a los cálculos realizados es necesario un eje de 3.05mm, pero como en el mercado no existe rodamientos lineales de ese diámetro y los más próximos a ese tipo de rodamiento son los de 8 mm de diámetro, se opta por seleccionar esos ver *tabla 6*.

Tabla 6: Valores estándar de rodamientos lineales Skf.

Dimensiones			Núm. De hileras de bolas	Cargas básicas nominales		Masa
Fw	D	C		din.	est. Co	Kg
Mm				C		
8	15	24	4	490	355	0,007
10	17	26	5	585	415	0,011
12	19	28	5	695	510	0,012
14	21	28	5	710	530	0,013
16	24	30	5	930	630	0,018
20	28	30	6	1160	800	0,021
25	35	40	7	2120	1560	0,047
30	40	50	8	3150	2700	0,07
40	52	60	8	5500	4500	0,13
50	62	70	9	6950	6300	0,18

Fuente: Catalogo de rodamientos SKF.

El rodamiento seleccionado es de 8 mm debido a que cumple con el requerimiento y además cuenta con las dimensiones más cercanas a lo necesitado.

3.3.1.3.Cálculo del factor de seguridad

A causa que se debe usar el eje de 8mm se procede al cálculo del factor de seguridad que se obtiene con dicho eje para lo cual se obtiene

$$S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi(8mm)^3}{32} = 50.27 * 10^{-6}$$

$$M = 411.6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} = \frac{411.6 \text{ Nmm}}{50.27 * 10^{-6}} = 8.189 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}} = \frac{300 \text{ MPa}}{8.189 \text{ MPa}} = 36.637$$

3.3.1.4. Cálculo de la deformación del eje.

Para el cálculo del desplazamiento se utiliza el método de la doble integración por el cual se obtiene la ecuación 3.22

Ecuación 3.22

$$ESy = -\frac{wL^4 5}{384}$$

Donde:

w = carga total de forma puntual

L = Longitud del eje

Despejando se obtiene.

$$E = 240 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$y = -\frac{wL^4 5}{384 * E * S} = \frac{147.04 \text{ N} * (140 \text{ mm})^4 * 5}{384 * 240 \text{ MPa} * 50.27 * 10^{-6}} = 0.007 \text{ mm}$$

3.3.1.5. Cálculo del tornillo de potencia coordenada Z.

Para realizar en cálculo del tornillo es necesario conocer la carga a mover y se lo obtiene mediante la siguiente fórmula que está dada por la *ecuación 3.22*

Ecuación 3.23

$$F = W + Fc$$

Donde:

Fuerza ejercida por el cabezal de la herramienta (Cabezal más base).

$$W = (10.29N)$$

Fuerza de corte

$$Fc = 1.4827Kg = (14,54 N)$$

Aplicando la *ecuación 3.23* da como resultado:

$$F = W + Fc = 10.29N + (14.54 N) = 24.83N$$

Donde:

$$F = 24.83N = 2.532Kgf$$

3.3.2. Diseño de la estructura horizontal de coordenada X.

La estructura del eje X se mueve de forma vertical con el objetivo de manipular el husillo el mismo que procede a elaborar el producto programado.

3.3.2.1. Traslación horizontal con la carga lateral.

Para el diseño se debe tomar en cuenta que la carga que esta aplicada un movimiento lateral lo cual conlleva a cambiar las guías de forma individual, así como se muestra en la *figura 29*, de esta manera poder verificar que la orientación del eje sea el correcto considerando esto se puede utilizar las siguientes ecuaciones.

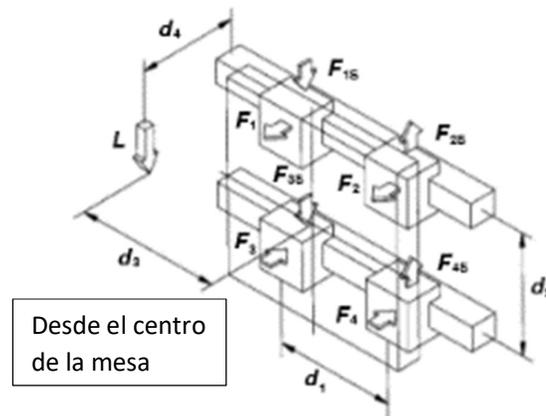


Figura 26: Traslación horizontal con carga lateral (Ecuaciones de cálculo)

Las ecuaciones para el cálculo de fuerzas en el eje vertical X son las siguientes:

Ecuación 3.24

$$F1 = F2 = \frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right)$$

Ecuación 3.25

$$F3 = F4 = -\frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right)$$

Ecuación 3.26

$$F1s = F3s = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1}\right)$$

Ecuación 3.27

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right)$$

Ecuación 3.28

$$L = F_c + W_z + W_x$$

Donde:

Fuerza de corte

$$F_c = 1,4827Kg = (13.17 N)$$

Peso de la estructura de coordenada Z.

$$W_z = 0.89Kg = (8.731N)$$

Fuerza ejercida por la estructura X.

$$W_x = 1.82Kg = (17.854N)$$

$$L = F_c + (W_z * g) + (W_x * g)$$

$$L = (13.17 N) + (0.89Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}) + (1.82Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}) = 39.755 N$$

$$d_1 = 62mm$$

$$d_2 = 110mm$$

$$d_3 = 0mm$$

$$d_4 = 82mm$$

De la *figura 29*, se obtiene las *ecuaciones (3.24), (3.25), (3.26) y (3.27)*, donde se reemplaza los valores obteniendo los siguientes valores:

$$F1 = F2 = \frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right) = \frac{41.125}{2} * \left(\frac{82}{110}\right) = 15.328N$$

$$F3 = F4 = -\frac{L}{2} * \left(\frac{d4}{d2}\right) = -\frac{41.125}{2} * \left(\frac{82}{110}\right) = -15.328 N$$

$$F1s = F3s = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1}\right) = \frac{41.125}{4} + \frac{41.125}{2} * \left(\frac{0}{62}\right) = 10.281 N$$

$$F2s = F4s = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1}\right) = \frac{41.125}{4} - \frac{41.125}{2} * \left(\frac{0}{62}\right) = 10.281 N$$

3.3.2.2. Flechas o ejes guías coordenadas X.

Los ejes son elementos primordiales en esta coordenada, con la fuerza F3 y F4 = N, calculadas en punto anterior con lo cual se realiza el diseño de los dispositivos con L1= 124 mm, L2 = 62 mm, L3 = 124 mm, siendo aplicado los diagramas de fuerza de la *figura 26*.

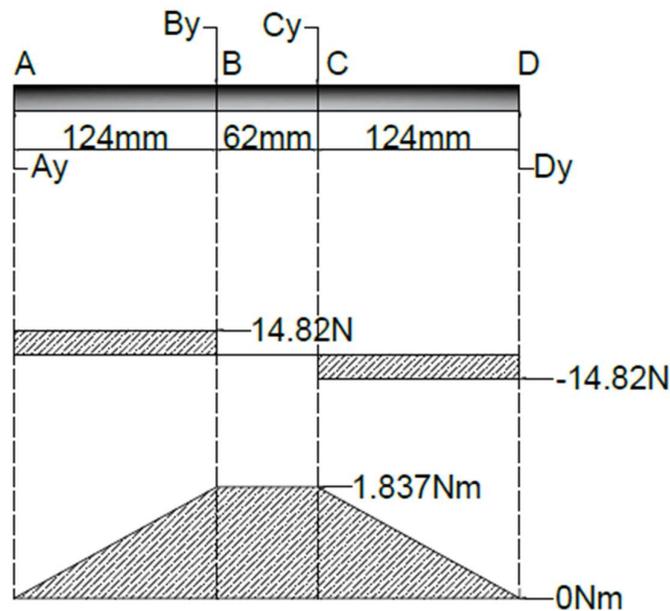


Figura 27: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.

Ecuación 3.29

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ay + By + Cy - Dy = 0$$

$$Ay = By + Cy - Dy$$

$$Ay = 14.82 + 14.82 - 14.82$$

$$Ay = 14.82 \text{ N}$$

Ecuación 3.30

$$\sum MA = 0$$

$$(By * 124) + (Cy * 186) - (Dy * 310) = 0$$

$$Dy = \frac{(14.82 * 124) + (14.82 * 186)}{310}$$

$$Dy = 14.82 \text{ N}$$

Ecuación 3.31

$$M1 = Ay * 124 = 14.82 * 124 = 1837.68 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.32

$$\begin{aligned} M2 &= Ay + ((Ay - By) * 62) = 1837.68 + ((14.82 - 14.82) * 62) \\ &= 1837.68 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Ecuación 3.33

$$M3 = M2 - (Dy * 124) = 1837.68 - (14.82 * 124) = 0 \text{ Nmm}$$

Cálculo de flechas o ejes guías

Ecuación 3.34

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

Ecuación 3.35

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

Ecuación 3.36

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

Donde:

σ_{Max} = Esfuerzo normal máximo.

M = Momento flector máximo.

S = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica.

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

Para el diseño de esta sección se consideró un factor de seguridad de $n = 2$.

El acero equivale a nos da una resistencia a la fluencia de:

$$S_y = 240 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} = \frac{235 * 10^6 \frac{N}{m^2}}{2} = 117500000 \frac{N}{m^2} = 117.5 \frac{N}{mm^2}$$

Del análisis de fuerzas y momentos flectores de la *figura 30*, se tiene un $M = 1.837$ Nm = 1837 Nmm o de la ecuación 3.30, siendo aplicado en la ecuación 3.33 y dándonos un resultado de:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{1837 \text{ Nmm}}{117.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 15.63 \text{ mm}^3$$

Mediante la ecuación 3.38, nos da un diámetro del eje de:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 15.63 \text{ mm}^3}{\pi}} = 5.42 \text{ mm}$$

De acuerdo a los cálculos realizados es necesario un eje de 5.42 mm, pero como en el mercado no existe rodamientos lineales de ese diámetro y los más próximos a ese tipo de rodamiento son los de 8 mm de diámetro, se opta por seleccionar esos ver *tabla 6*.

3.3.2.3.Cálculo del factor de seguridad

A causa que se debe usar el eje de 8mm se procede al cálculo del factor de seguridad que se obtiene con dicho eje para lo cual se obtiene

$$S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi(8\text{mm})^3}{32} = 50.27 * 10^{-6}$$

$$M = 1837 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} = \frac{1837\text{Nmm}}{50.27 * 10^{-6}} = 37 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}} = \frac{300\text{Mpa}}{37\text{Mpa}} = 9.577$$

3.3.2.4.Cálculo de la deformación del eje.

Para el cálculo del desplazamiento se utiliza el método de la doble integración por el cual se obtiene la ecuación 3.37

Ecuación 3.37

$$ESy = -\frac{wL^4}{384}$$

Donde:

w = carga total de forma puntual

L = Longitud del eje

Despejando se obtiene.

$$E = 240MPa$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$y = -\frac{wL^4}{384 * E * S} = \frac{95.6N * (310mm)^4 * 5}{384 * 240MPa * 50.27 * 10^{-6}} = 0.104 mm$$

3.3.2.5.Cálculo del tornillo de potencia coordenada X.

Para realizar en cálculo del tornillo es necesario saber el peso total el cual lo va a mover y se lo obtiene mediante la siguiente fórmula que está dada por la *ecuación 3.46*

Ecuación 3.38

$$F = Fc + Wz + Wx$$

Donde:

Fuerza de corte

$$F_c = 1.4827Kg = (13.17 N)$$

Peso de la estructura de coordenada Z.

$$W_z = 0.89Kg = (8.731N)$$

Fuerza ejercida por la estructura X.

$$W_x = 1.82Kg = (17.854N)$$

Aplicando la *ecuación 3.23* nos da como resultado:

$$F = W + F_c + F_y = 13.17N + 8.731N + 17.854N = 39.755N$$

Donde:

$$F = 39.755N$$

$$F = 4.054Kgf$$

3.3.3. Diseño de la estructura horizontal de coordenada Y.

La estructura del eje Y se mueve de forma vertical y así permitiendo el desplazamiento de la cama la cual se encarga de sostener el material a trabajar.

3.3.3.1. Traslación horizontal con la carga lateral.

Para el diseño se debe tomar en cuenta que la carga normal se aplica a un sistema horizontal de guías, así como se muestra en la *figura 33*, de esta manera poder verificar que la orientación de la carga sea el correcto, considerando esto se puede utilizar las siguientes ecuaciones.

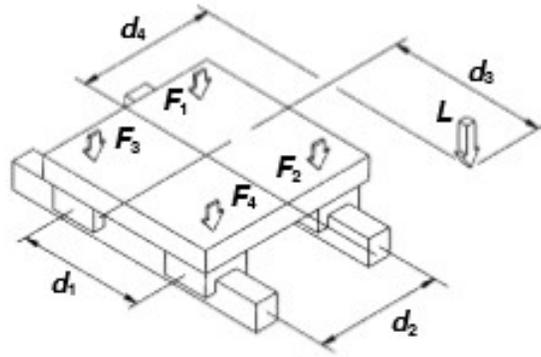


Figura 28: Traslación horizontal con carga normal (Ecuaciones de cálculo)

Las ecuaciones para el cálculo de fuerzas en el eje horizontal Y son las siguientes:

Ecuación 3.39

$$F1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right)$$

Ecuación 3.40

$$F2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right)$$

Ecuación 3.41

$$F3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right)$$

Ecuación 3.42

$$F4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} * \left(\frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right)$$

Ecuación 3.43

$$L = Fc + Wy$$

Donde:

Fuerza de corte

$$F_c = 1.4827Kg = (13.17 N)$$

Fuerza ejercida por la estructura Y

$$W_y = 1.43 Kg = (14.028 N)$$

$$L = F_c + (W_y * g)$$

$$L = 13.17 + \left(1.43Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) = 27.198N$$

$$d_1 = 100 \text{ mm}$$

$$d_2 = 150 \text{ mm}$$

$$d_3 = 120 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0 \text{ mm}$$

En la *figura 33*, se obtiene las ecuaciones (3.39), (3.40), (3.41) y (3.42), donde se reemplaza los valores obteniendo los siguientes valores:

$$F_1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} * \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2}\right) = \frac{27.198}{4} - \frac{27.198}{2} * \left(\frac{120}{100} + \frac{0}{150}\right) = -9.519 N$$

$$F_2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} * \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2}\right) = \frac{27.198}{4} + \frac{27.198}{2} * \left(\frac{120}{100} - \frac{0}{150}\right) = 23.119 N$$

$$F_3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} * \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2}\right) = \frac{27.198}{4} - \frac{27.198}{2} * \left(\frac{120}{100} - \frac{0}{150}\right) = -9.519 N$$

$$F_4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} * \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2}\right) = \frac{27.198}{4} + \frac{27.198}{2} * \left(\frac{120}{100} + \frac{0}{150}\right) = 23.119 N$$

3.3.3.2. Flechas o ejes guías coordenadas Y.

Los ejes son elementos primordiales en esta coordenada, con la fuerza $F_3 = N$ y $F_4 = N$, calculadas en punto anterior con lo se procede a realizar el diseño de los dispositivos con $L_1 = 150 \text{ mm}$, $L_2 = 100 \text{ mm}$, $L_3 = 150 \text{ mm}$, siendo aplicado los diagramas de fuerza de la *figura 26*.

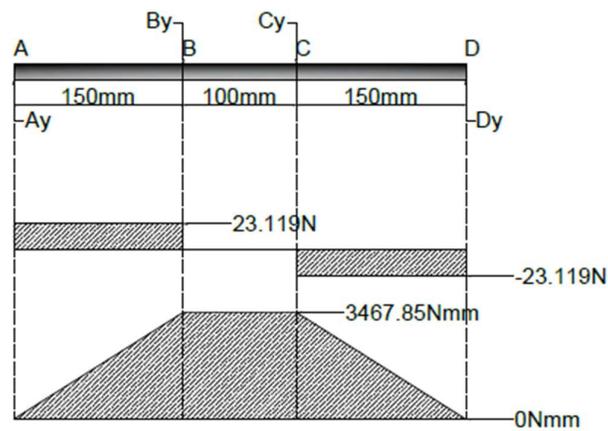


Figura 29: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.

Ecuación 3.44

$$\sum F_y = 0$$

$$-A_y + B_y + C_y - D_y = 0$$

$$A_y = B_y + C_y - D_y$$

$$A_y = 23.119 + 23.119 - 23.119$$

$$A_y = 23.119 \text{ N}$$

Ecuación 3.45

$$\sum M_A = 0$$

$$(B_y * 150) + (C_y * 250) - (D_y * 400) = 0$$

$$Dy = \frac{(23.119 * 150) + (23.119 * 250)}{400}$$

$$Dy = 23.119N$$

Ecuación 3.46

$$M1 = Ay * 150 = 23.119 * 150 = 3467.85 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.47

$$\begin{aligned} M2 &= M1 + (Ay - By) * 100 = 3467.85 + ((23.119 - 23.119) * 100) \\ &= 3467.85 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Ecuación 3.48

$$M3 = M2 - (Dy * 150) = 3467.85 - (23.119 * 150) = 0Nmm$$

Cálculo de flechas o ejes guías

Ecuación 3.49

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

Ecuación 3.50

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

Ecuación 3.51

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

Donde:

σ_{Max} = Esfuerzo normal máximo.

M = Momento flector máximo.

S = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica.

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

Para el diseño de esta sección se consideró un factor de seguridad de $n = 2$.

El acero equivale a

$$S_y = 235 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} = \frac{235 * 10^6 \frac{N}{m^2}}{2} = 117500000 \frac{N}{m^2} = 117.5 \frac{N}{mm^2}$$

Del análisis de fuerzas y momentos flectores de la *figura 34*, se tiene un M = 3467.85 Nmm o de la *Ecuación 3.43*, siendo aplicado en la *Ecuación 3.46*, y dándonos un resultado de:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{3467.85 \text{ Nmm}}{117.5 \frac{N}{mm^2}} = 29.51 \text{ mm}^3$$

Mediante la *Ecuación 3.47*, nos da un diámetro del eje de:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 29.51 \text{ mm}^3}{\pi}} = 6.69 \text{ mm}$$

De acuerdo a los cálculos realizados es necesario un eje de 6.69 mm, pero como en el mercado no existe rodamientos lineales de ese diámetro y los más próximos a ese tipo de rodamiento son los de 8 mm de diámetro.

3.3.3.3.Cálculo del factor de seguridad

A causa que se debe usar el eje de 8mm se procede al cálculo del factor de seguridad que se obtiene con dicho eje para lo cual se obtiene

$$S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi(8mm)^3}{32} = 50.27 * 10^{-6}$$

$$M = 3467.85 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} = \frac{3467.85 \text{ Nmm}}{50.27 * 10^{-6}} = 68.99 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}} = \frac{300 \text{ Mpa}}{68.99 \text{ Mpa}} = 4.928$$

3.3.3.4.Cálculo de la deformación del eje.

Para el cálculo del desplazamiento se utiliza el método de la doble integración por el cual se obtiene la ecuación 3.22

Ecuación 3.22

$$ESy = -\frac{wL^4}{384}$$

Donde:

w = carga total de forma puntual

L = Longitud del eje

Despejando se obtiene.

$$E = 240 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$y = -\frac{wL^4}{384 * E * S} = \frac{74.09N * (400mm)^4 * 5}{384 * 240MPa * 50.27 * 10^{-6}} = 0.223mm$$

3.3.3.5. Cálculo del tornillo de potencia coordenada Y.

Para realizar el cálculo del tornillo se requiere conocer el peso total que se desea mover, dicho valor se puede calcular mediante la *ecuación 3.40*

Ecuación 3.40

$$F = F_c + W_y$$

Donde:

Fuerza de corte

$$F_c = 1.4827Kg = (13.17 N)$$

Peso de la estructura de coordenada Z.

$$W_y = 1.43Kg = (14.028N)$$

Aplicando la *ecuación 3.40* nos da como resultado:

$$F = F_c + W_y = 13.17N + 14.28N = 27.198N$$

Donde:

$$F = 27.198N$$

$$F = 2.773Kgf$$

3.3.4. Cálculo del torque para el tornillo de potencia de coordenadas X, Y y Z.

Debido a que el husillo a ser usado en la estructura de la máquina es el mismo en el eje Y, Z y X, solo de diferente longitud se realiza el análisis solo en la coordenada X,

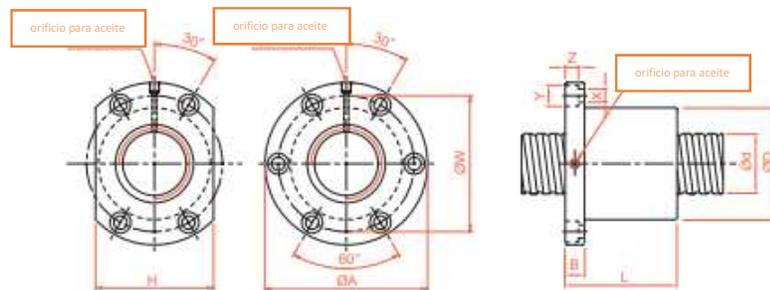
como este es el eje que se encarga de soportar mayor carga dimensionando las características del motor en las dos estructuras.

Tabla 7: Carga individual de cada uno de los ejes.

	Eje x	Eje y	Eje z
Carga necesaria	2.532Kgf	4.054Kgf	2.532Kgf

El desplazamiento de los ejes se realiza por medio de un tornillo de bolas fabricado por la empresa Tbmotion quien proporciona una tabla en donde se puede escoger el producto más acorde a las necesidades de diseño basándose en la carga que va a manipular el sistema, para esto se utiliza la *tabla 8*.

Tabla 8: Tronillo de precisión tipo SFV.



Modelo Núm.	D	I	Da	Dimensiones							Rango de carga		K
				D	A	B	L	H	Y	Q	Ca(Kgf)	Coa(Kgf)	
Sfv01205	12	5	2.5	30	50	10	42	32	8	M6	661	1316	19
sfv01210		10	2.5	30	50	10	53	32	8	M6	623	1241	18
sfv01510	15	10	3.175	34	58	10	57	34	9,5	M6	972	2020	23
sfv01604	16	4	2.381	34	57	11	45	34	9,5	M6	931	2285	31
sfv01605		5	3.175	40	45	11	58	42	9,5	M6	1614	3662	40
sfv01610	16	10	3.175	40	58	11	56	42	9,5	M6	1008	2161	24
sfv02004	20	4	2.381	40	56	10	50	40	8	M6	1247	3584	45
sfv02005		5	3.175	44	50	11	57	52	9,5	M6	1814	4650	47

Fuente: (Tbmotion, 2019)

Debido a que en la *tabla 7* no existe un producto que tenga una resistencia de 4.054Kgf se usa el valor mínimo que es de 12mm de diámetro.

3.4. Selección de materiales.

En cuanto a los materiales, es necesario e importante mantener un buen criterio en la selección de los actuadores.

3.4.1. Selección de actuadores.

Las máquinas CNC son activadas por servomotores o motores paso a paso. Para este caso se ha seleccionado motores paso a paso ya que permite tener mejor control de posición y velocidad.

3.4.1.1. Motor DC.

- Voltaje de operación 6-20v
- Velocidad máxima 19500rpm
- Torque 153 Mn/m
- Control de lazo cerrado necesario (COMPLICADO)
- Peso 383G
- Corriente de operación 2.7A

3.4.1.2. Motor a pasos.

- Voltaje de operación 12v
- Torque 17n/mm
- Control de lazo abierto
- Control lazo abierto(simple)
- Corriente de operación 1.7A
- Pasos por revolución 200

3.4.1.3. Servomotor.

- Voltaje de operación 4.8-7.2v
- Velocidad 0.16 s/60°
- Control de lazo abierto
- Corriente de operación 1.5A
- Peso 55g

- 120 máximo de movimiento

3.4.1.4. Matriz de selección del motor paso a paso.

En la *tabla 9*, se tiene los criterios de selección de la bamba de vacío con una valoración entre 1 y 5 puntos, donde 1 = no recomendable y 5 = opción viable para nuestro proyecto.

Tabla 9: Criterios de selección de actuadores.

Ponderación	Motor de	Servomotor	Motor a pasos
MODELO	RS-775WC	MG995	NEMA17
Voltaje de operación	5	5	3
Torque	3	5	5
Control	1	3	5
Corriente de operación	2	4	4
Velocidad	5	2	3
Peso	3	4	5
Total	19	23	25

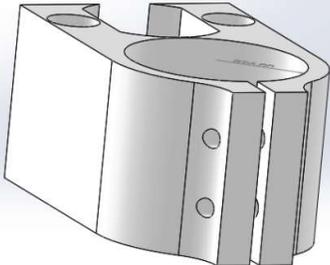
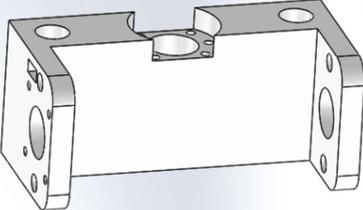
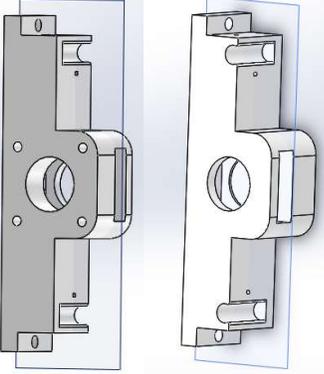
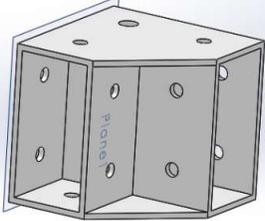
3.4.1.5. Selección del actuador más viable.

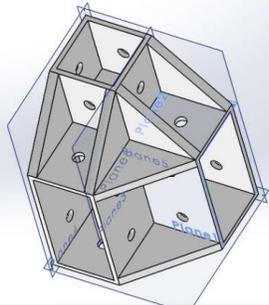
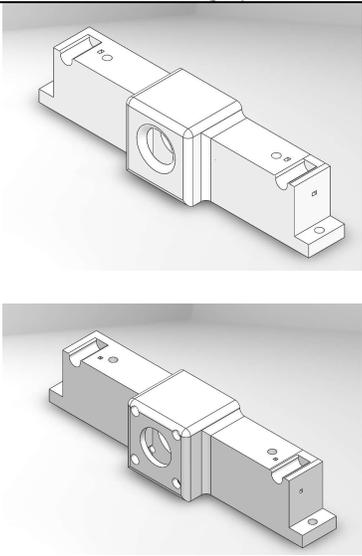
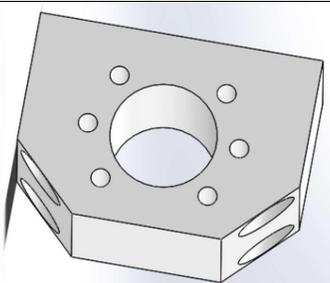
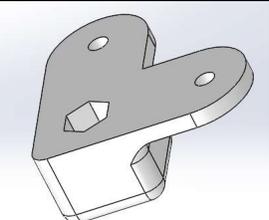
De acuerdo con las características más importantes y por medio de la *tabla 7* de ponderación se opta por el uso del motor a pasos modelo Nema 17 el cual tiene un valor total de 25 puntos en la tabla de selección.

3.5. Diseño y modelado CAD de la máquina CNC.

El diseño de la máquina fue realizado mediante software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D llamado SolidWorks con la finalidad de simplificar el trabajo al mecanizar su estructura.

Tabla 10: Elementos mecánicos diseñados.

Nombre del elemento	Diseño CAD	descripción
<p>Base de sujeción del husillo</p>		<p>Es la pieza encargada de sujetar el husillo su función en deslizarse de manera vertical e insertar la herramienta en el material</p>
<p>Base del mecanismo de traslación del eje z</p>		<p>Se encarga de sujetar todo el sistema de movimiento del eje z además de que este se mueve en el eje horizontal x</p>
<p>Soportes laterales del eje x.</p>		<p>Su función es sujetar todo el sistema de movimiento del eje x, ejes motor y tornillo de potencia va a su vez empotrado en la torre de sujeción</p>
<p>Unión de la base en la parte frontal.</p>		<p>Es la encargada de sujetar los perfiles de tipo c de 31x31mm para así lograr dar la forma de una caja en la misma que va montada todo el sistema electrónico.</p>

<p>Unión de la base en la parte posterior.</p>		<p>Su función es básicamente la misma de la parte frontal, pero además sirve para sujetar la torre de montaje del eje de transmisión x</p>
<p>Base del sistema de transmisión del eje y.</p>		<p>La base del todo mecanismo de movimiento de la cama está compuesta por estas 2 piezas en las cuales se acopla el motor los 2 ejes y el tornillo de potencia además de rodamientos para que el tornillo tenga un movimiento fluido.</p>
<p>Soporte para acoplamiento del tornillo de potencia.</p>		<p>Es el encargado de sujetar la cama al tornillo para así lograr el movimiento de la misma</p>
<p>Acoplamiento para las patas de alineación.</p>		<p>Es el encargado de acoplar las patas a la estructura de la máquina para así poder nivelarla de una manera más sencilla</p>

3.6.Diseño y construcción e instalación del sistema de control automático.

Existen varios aspectos que se deben tomar en cuenta a la hora del diseño, construcción e instalación del sistema de control, a continuación, se detalla de mejor manera aquellos puntos.

3.6.1. Selección del controlador del sistema

3.6.1.1.Arduino Uno

- Microcontrolador ATmega328
- Facilidad de programación
- Disponibilidad de librerías
- Voltaje de operación 5V
- Pines digitales E/S 20
- Pines digitales E/S con PWM 6
- Pines de entradas analógicas 8
- Corriente DC por pin de E/S de 40mA
- Frecuencia de reloj 16MHZ
- Puerto de conexión USB

3.6.1.2.ATmega164p

- Casa comercial Atmega
- Microcontrolador 164P
- Entorno de desarrollo bascom avr
- 2,7 – 5,5V
- Pines digitales de E/S 21
- Pines PWM 7
- Pines analógicos 7

- Puerto de conexión UART

3.6.1.3.Raspberry pi 3 modelo B

- Costo elevado
- Interfaz propia Raspbian
- Programación Python
- CPU: Qua-Core Córtex A7 a 900Mhz
- GPU: Video Core IV de doble núcleo
- RAM: 1GB DDR2
- 4 puertos USB
- 40 pines GPIO
- HDM1

3.6.1.3.Matriz de selección del controlador del sistema

La *tabla 11* indica los criterios de selección del controlador del sistema con una valoración entre 1 y 5 puntos, donde 1 = no recomendable y 5 = opción viable para nuestro proyecto.

Tabla 11: Cálculos de factor de seguridad para vigas.

Ponderaciones	Arduino	Atmega164p	Raspberry pi3
Costo	5	4	1
Compatibilidad de plataformas	5	3	3
Facilidad de manejo	5	2	3
Compatibilidad con los actuadores	5	5	5
Posibilidad de fuente de voltaje variable	5	2	1
Pines digitales	4	4	4
Total	29	20	17

3.7.1. Selección del software de integración CAD/CAM.

El control se lo realiza por medio del software, y también mediante la *tabla 11* de ponderación se toma en cuenta las características más importantes que influyen en el funcionamiento de la máquina CNC de placas electrónicas.

3.7.1.1. bCNC

- Software libre
- Controla la CNC con GRBL+Arduino
- Editor de gcode
- Configuración de aceleración y velocidad
- Compatibilidad con firmware

3.7.1.2. Universal gcode sender

- Software libre
- Lenguaje gcode
- Controladores CNC avanzados como GRBL y TinyG
- Configuración de gcode confiable
- Control de velocidad por defecto del software

3.7.1.3. boxzy

- Software pagado
- Lenguaje gcode
- Controlador CNC abierto con GRBL
- Configuración del código gcode
- Control de velocidad establecido por el software

3.7.1.4. Matriz de selección del software de integración CAD/CAM.

La *tabla 11* indica los criterios de selección del software de integración con una valoración entre 1 y 5 puntos, donde 1 = no recomendable y 5 = opción viable para nuestro proyecto.

Tabla 12: Cálculos de factor de seguridad para vigas.

Ponderaciones	bCNC	Universal gcode sender	Boxzy
Gratuidad	5	5	1
Compatibilidad de plataformas	4	4	5
Facilidad de manejo	5	2	5
Compatibilidad con el firmware	5	3	3
Posibilidad de visualización en tiempo real	5	3	5
Consumo de recursos	5	5	3
Total	29	21	22

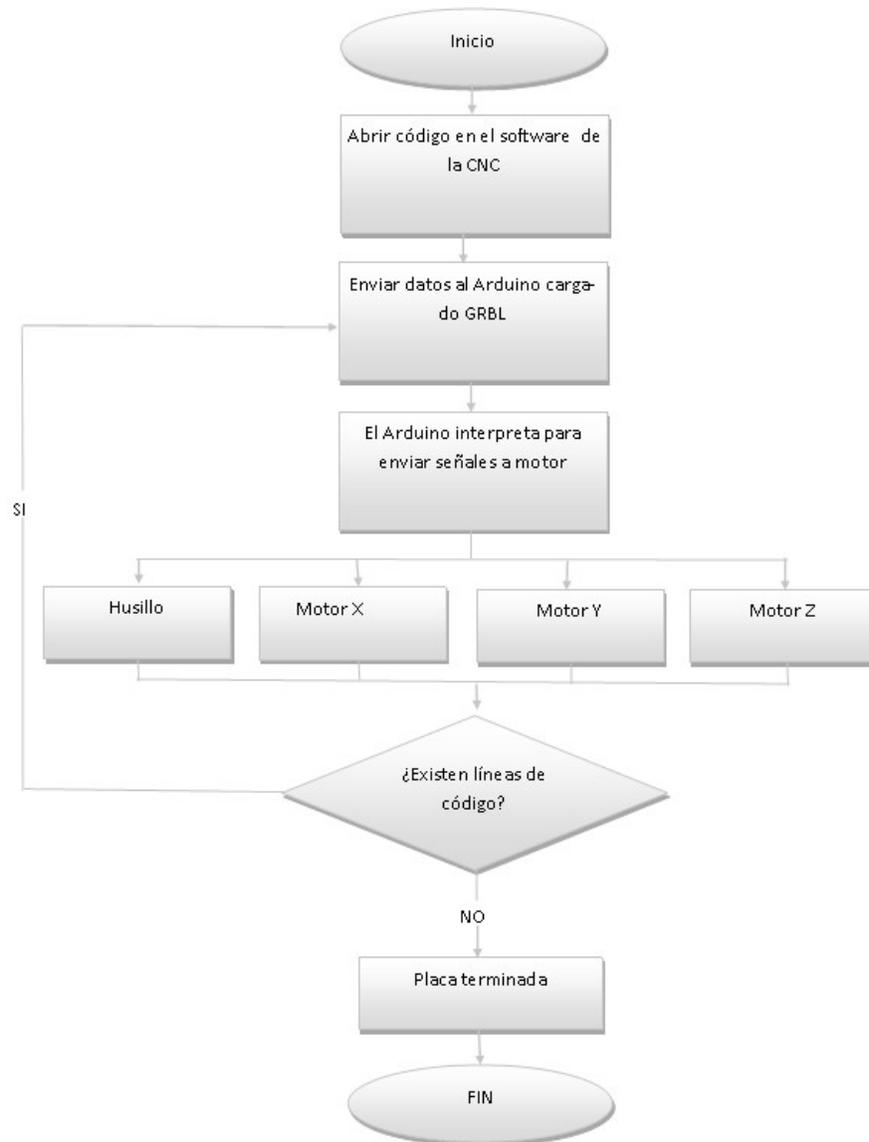
3.7.1.5. Selección más viable del software de integración CAD/CAM.

Tomando en cuenta la tabla de ponderación anterior, el software conveniente para ser aplicado en el proyecto y es el “bCNC” pues tiene una puntuación de 29 puntos de acuerdo a la valoración de la *tabla 11*, es muy fácil de usar y aplicar para el manejo de la máquina CNC, además de ser completo y gratuito.

3.8. Diagrama del sistema.

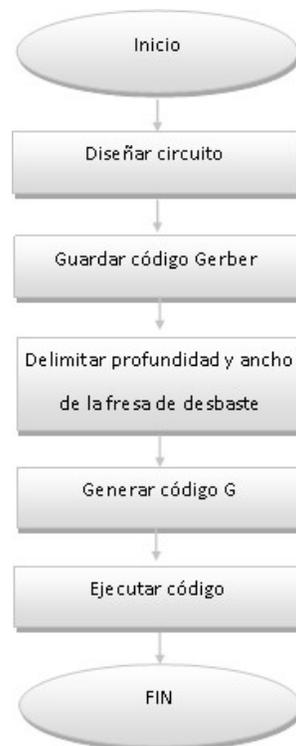
El sistema consta de varios componentes tales como, el controlador CNC, el cual realiza las operaciones principales interpretando las señales que son enviadas por el

ordenador el cual da las posiciones mediante código G en todos los ejes, la velocidad de trabajo y que operaciones están siendo procesadas digitalmente, este proceso se lo realiza mientras la máquina está en funcionamiento para una mejor comprensión a continuación el flujograma de operación.



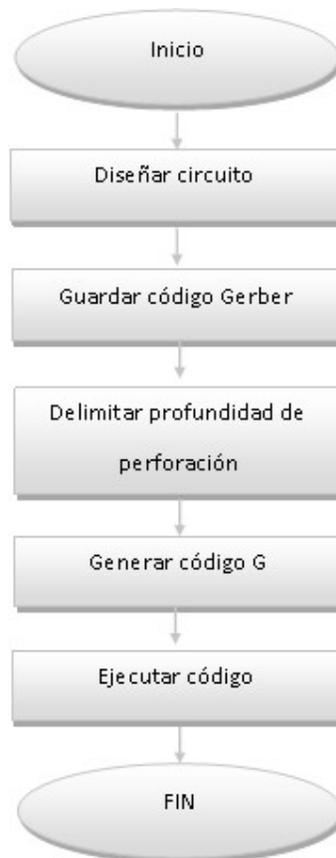
3.9. Diagrama de desbaste

Inicialmente se dibuja la placa electrónica utilizando cualquier programa de asistencia para diseño de placas electrónicas inmediatamente se genera el código Gerber. Se delimita la profundidad y ancho de la fresa de desbaste en flatcam para que se haga el proceso de mecanizado con precisión, finalmente se genera y ejecuta el código G, obteniendo así una placa mecanizada en su superficie.



3.10. Diagrama de taladrado

Se empieza haciendo el diseño del circuito a perforar para posteriormente guardar el código gerber, previamente se debe determinar la profundidad de perforación, para completar el proceso de taladrado se genera y ejecuta el código g.



CAPÍTULO IV

4. Pruebas y resultados.

Para evaluar que se cumple con los requisitos planteados anteriormente se realiza varias pruebas de funcionamiento las cuales se describe a continuación.

4.1. Pruebas de la estructura mecánica.

Para verificar que la estructura mecánica funcione correctamente se optó por la realización de pruebas de desplazamientos y de factor de seguridad en los ejes que soportan la carga del sistema mediante simulación.

4.1.1. Factor de seguridad.

Se realizaron pruebas en simuladores de elementos finitos y una comparación de forma manual para comprobar que la estructura mecánica se encuentre correctamente.

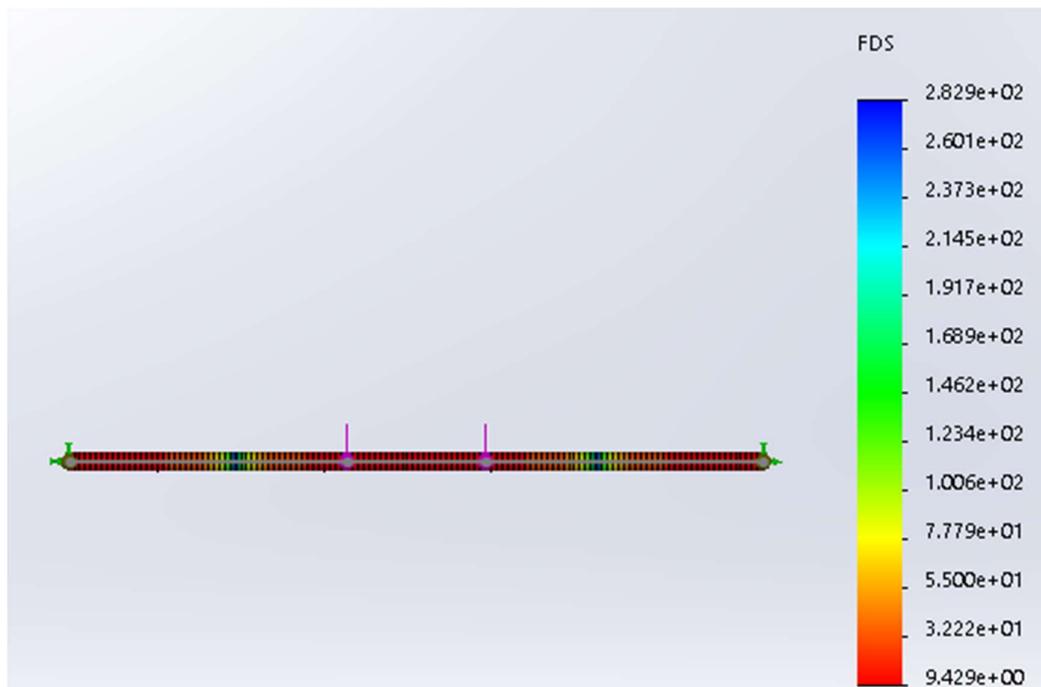


Figura 30: Factor de seguridad viga eje x

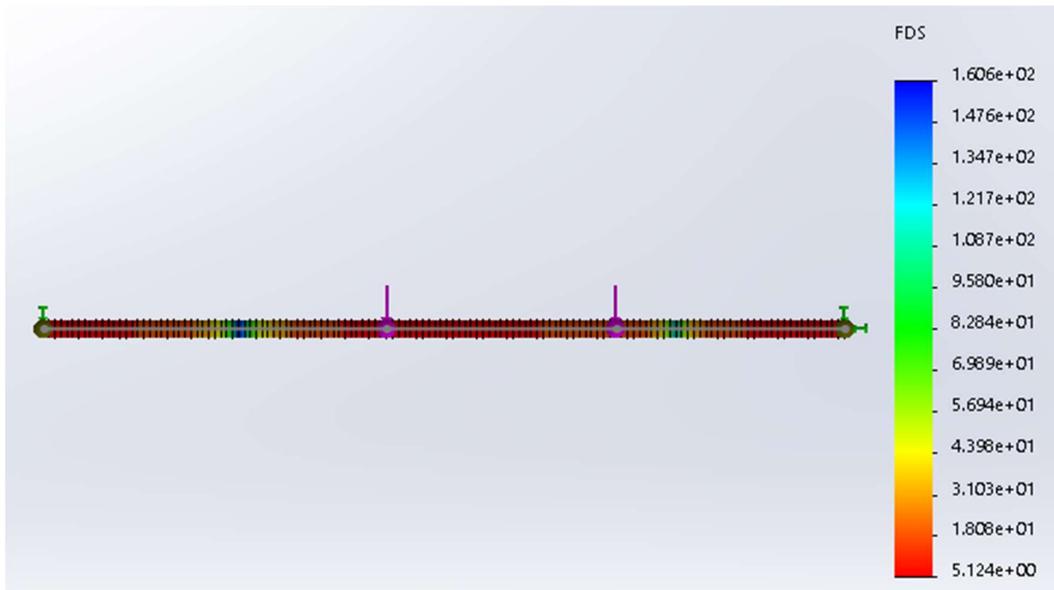


Figura 31: Factor de seguridad viga eje y

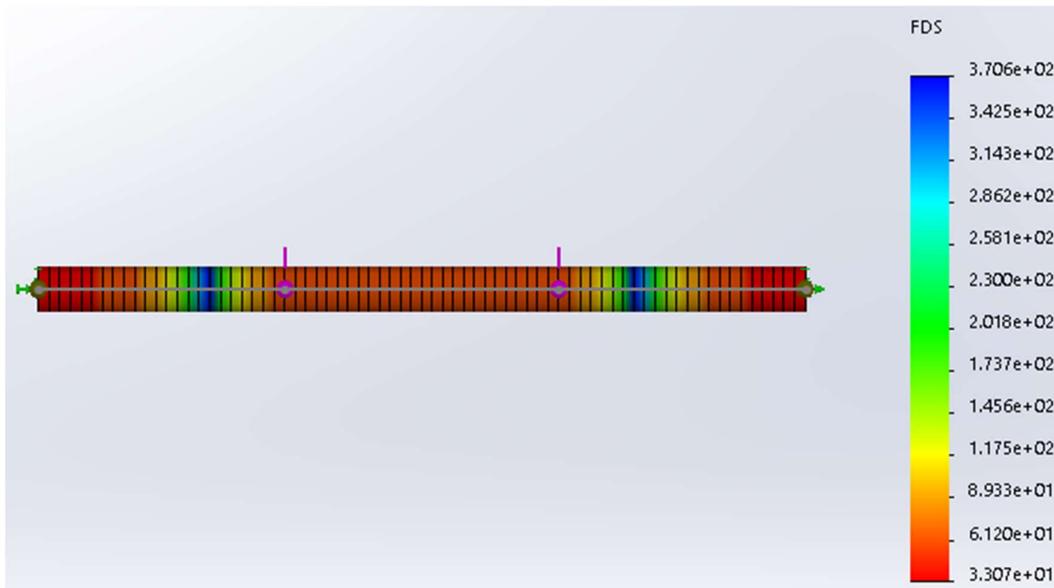


Figura 32: Factor de seguridad viga eje z

Tabla 13: Cálculos de factor de seguridad para vigas.

EJE	Cálculo manual	Análisis de elementos finitos	Porcentaje
Eje x	$N = 9.577$	$N = 9.4$	1.88 %
Eje y	$N = 4.928$	$N = 5.1$	-3.37 %
Eje z	$N = 36.637$	$N = 33.07$	10.79 %

Como se puede observar en la *tabla 12* tanto el análisis manual y el análisis por elementos finitos es coincidente en un rango de 10.79 %, siendo este el valor más crítico.

4.1.2. Desplazamiento.

Se realizaron pruebas en simuladores de elementos finitos y una comparación de forma manual para comprobar que la estructura mecánica se encuentre correctamente.

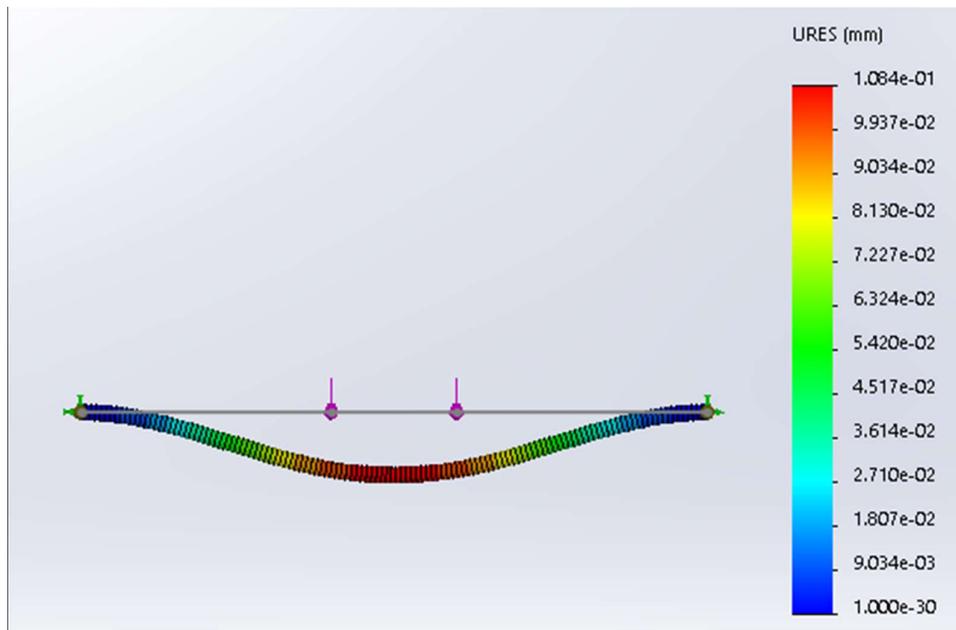


Figura 33: Desplazamiento viga eje x

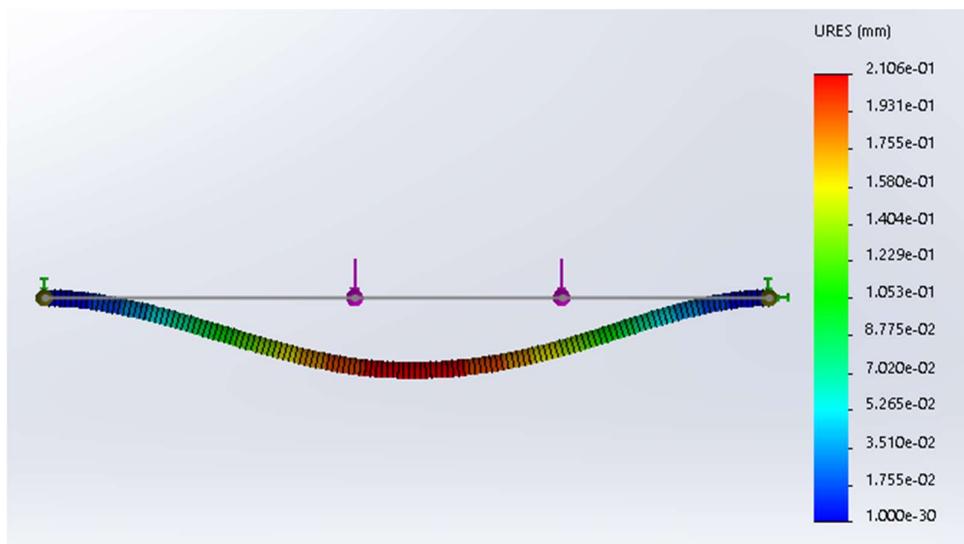


Figura 34: Desplazamiento viga eje y

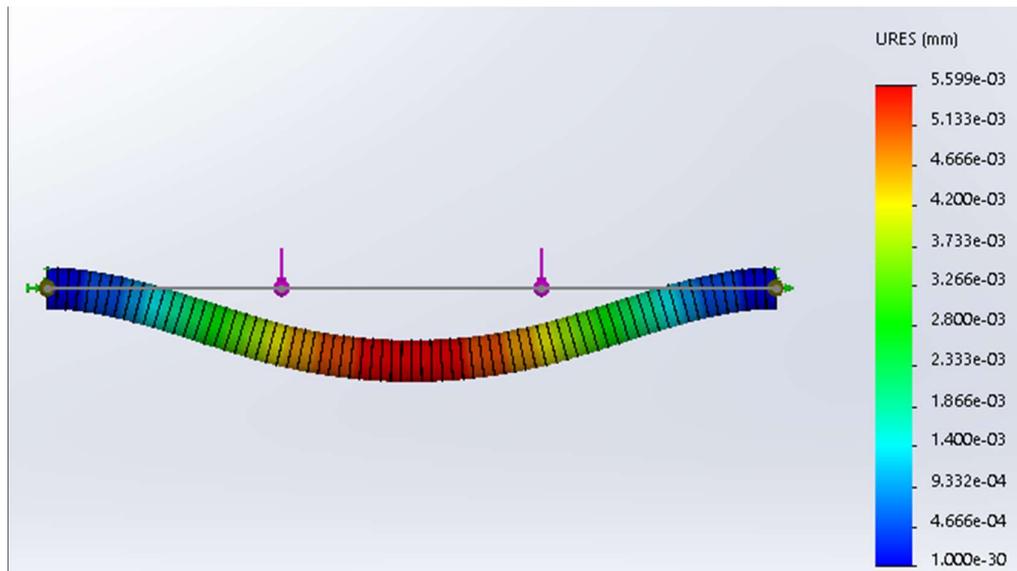


Figura 35: Desplazamiento viga eje z

Tabla 14: Cálculos de desplazamiento para vigas.

EJE	Calculo manual	Análisis de elementos finitos
Eje x	$N = 0.104\text{mm}$	$N = 0.108\text{mm}$
Eje y	$N = 0.223\text{mm}$	$N = 0.211\text{mm}$
Eje z	$N = 0.007$	$N = 0.005\text{mm}$

Como se puede observar en la *tabla 12*, el análisis manual y el análisis por elementos finitos es coincidente en un rango de 5%.

4.2. Construcción del prototipo mecánico.

Luego de comprobación mediante simulaciones que cada uno de los sistemas funcionan correctamente se procede a realizar la construcción del prototipo de la máquina.

4.2.1. Construcción mecánica del eje Z.

En la *figura 37*, se puede observar el prototipo mecánico del eje Z, el cual ya se encuentra mecanizado y armado.



Figura 36: Ensamblaje del eje z.

Una vez realizado el prototipo del eje Z, se realizó pruebas de vibración y ruido, y se determinan que el sistema funciona satisfactoriamente.

4.2.2. Construcción mecánica del eje X y Y.

Como se comprobó que el sistema funciona correctamente se procede al mecanizado y ensamblaje de la estructura del eje X y del eje Y, se realizaron de igual manera pruebas con carga, sin carga y con una variante de tres velocidades, en la *tabla 14*, se puede observar los datos y ensayos realizados.

Tabla 15: Pruebas de carga.

Ensayo número.	características	Observaciones	Velocidad m/s
1	Análisis sin carga a bajas velocidades	Movimiento fluido sin pérdida de pasos sistema con casi nula vibración	10
2	Análisis sin carga a media velocidad	Movimiento aun fluido sin pérdida de pasos y con una vibración suave	50

3	Análisis sin carga a altas velocidades	Movimiento constante sin pérdida de pasos se empieza a notar una pequeña vibración	100
4	Análisis con carga (5kg) a bajas velocidades	Movimiento fluido sin pérdida de pasos sin vibración con un incremento suave en el ruido	10
5	Análisis con carga(5Kg) a velocidad media	Movimiento constante sin pérdida de pasos incremento leve de vibración incremento en el ruido producido por el mecanismo	50
6	Análisis con carga(5Kg) a altas velocidades	Movimiento sin pérdida de pasos con vibración notoria ruido notorio y aparición de calentamiento suave en los motores	100

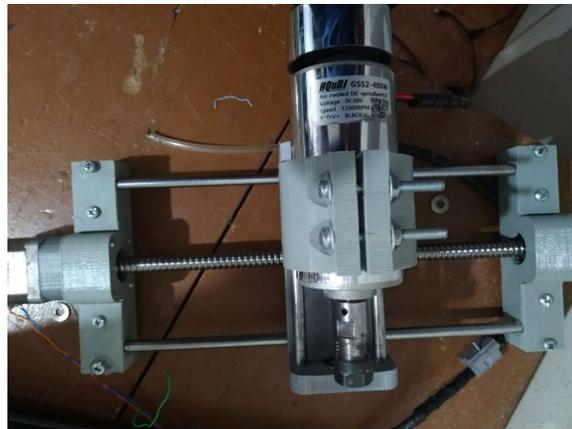


Figura 37: Ensamblaje total de ejes x y z.



Figura 38: Ensamblaje total de eje y.

4.2.3. Ensamblaje de la estructura y unión de todos los sistemas de la máquina.

Luego de realizar la comprobación de cada uno de los ejes individualmente se procede a la construcción de la estructura final la cual está hecha de perfilaría de aluminio como se ve en la *figura 40*.



Figura 39: Ensamblaje de la estructura de aluminio.

Dentro del proceso descrito anteriormente en la *tabla 12 y 13*, se obtiene como resultado la estructura completa que se puede observar en la *figura 41*.

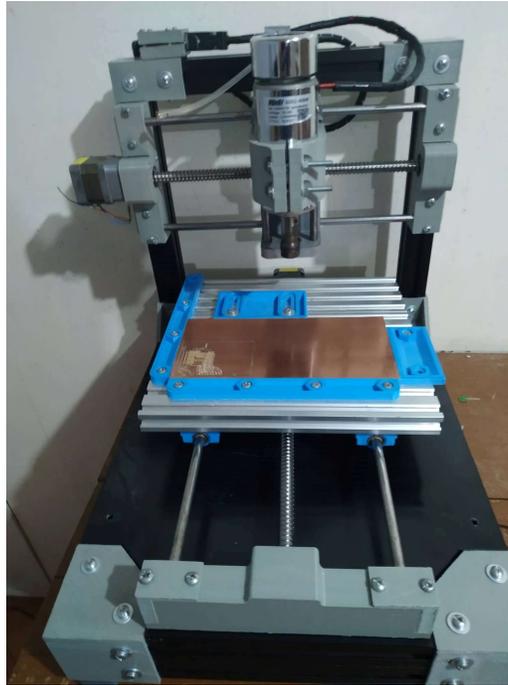


Figura 40: Ensamblaje total de la máquina.

Los códigos GRBL que utiliza la máquina se detallan en el *anexo 1*. Es preciso indicar que el seteo de la máquina, la verificación de coordenadas y varios parámetros de funcionamiento de la CNC se encuentra en el manual de usuario que se encuentra en el *anexo 3*.

4.3.3. Pruebas de mecanizado de placas electrónicas

Al realizar el proceso de fresado y taladrado se observa que se tiene una buena calidad de circuito impreso y una definición excelente como se observa en la *figura 42*

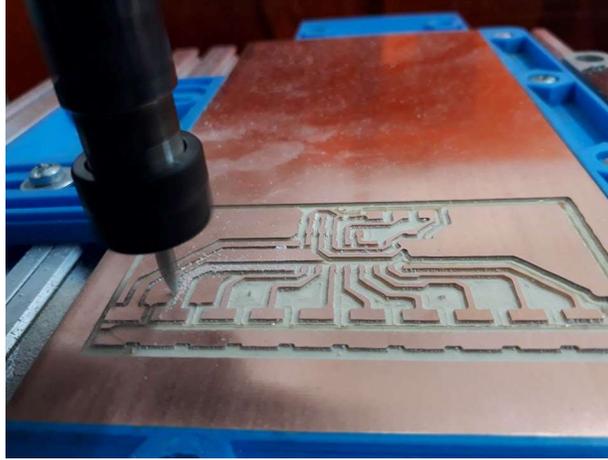


Figura 412: Mecanizado de placa electrónica

Una vez terminado el proceso se observa que el mecanizado es satisfactorio y se obtiene un circuito con una buena calidad.

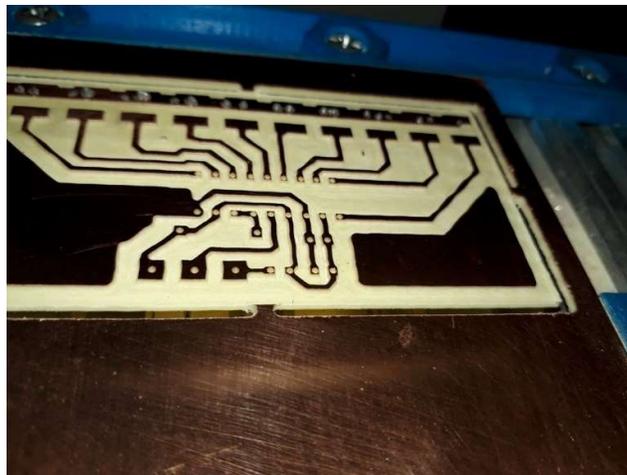


Figura 423: Placa electrónica terminada

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

- Los mejores mecanismos para este tipo de fresadoras son las de tipo cartesianas ya que permiten un movimiento en 3 ejes (Y, X y Z). En la actualidad los mecanismos más eficientes para las máquinas CNC son con un sistema independiente ya que ayuda a facilitar el mantenimiento preventivo y correctivo.
- El sistema mecánico está diseñado con materiales de fácil adquisición y con un factor de seguridad mínimo de 5.45 considerando que es muy alto lo cual prolonga la vida útil del sistema.
- Para el movimiento del sistema se empleó motores a pasos nema 17 con sus respectivos drivers de control todos comandados por Arduino el cual permite una conexión por medio de interfaz USB con el Pc.
- Para la operación de esta máquina se opta por utilizar el software bCNC de código abierto el cual es un programa muy completo para este tipo de máquinas y permite una interacción cómoda e intuitiva, compatible en su totalidad con el sistema electrónico utilizado en este proyecto.
- Se obtuvo un sistema de movimiento con una eficiencia de 90% gracias a la utilización del sistema de movimiento tipo Screwball el cual mejora la calidad de movimientos además de reducir ruido y vibración de movimiento del sistema.

Recomendaciones

- Para la correcta operación de la máquina se recomienda utilizar puntas de lanza de 40 grados de la empresa vinyl shop además de una velocidad de avance de 70mm/s de esta forma se garantiza el acabado adecuado además de la vida útil de la herramienta
- Se recomienda la continuación del trabajo de grado con la implementación de un sistema de aspiración de la viruta ya que esta se esparce en el ambiente
- Se recomienda la continuación del trabajo de grado con la implementación de un sistema de multi cabezales ya que actualmente este se realiza de forma manual lo cual conlleva tiempos muertos de la maquina además que cada cambio de cabezal requiere un seto nuevo del punto cero piezas para eje vertical.
- Para el correcto funcionamiento de esta máquina se recomienda una correcta lubricación en los ejes por los cuales se mueve el sistema además del engrasado periódico de el tornillo de potencia

Bibliografía

- Boothroyd. (2008). *Fundamento del corte de metales y de la máquina-herramienta*.
- Casillas, A. (1998). *Máquinas Calculo de Taller*. España: Máquinas.
- Cruz, A. (12 de 2 de 2015). *mapf-02.blogspot.com*. Obtenido de <http://mapf-02.blogspot.com/2015/02/partes-principales-de-la-fresadora.html>
- Fernández, V. R. (2018). *http://platea.pntic.mec.es*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/motores_p-p.htm
- Geek, B. (2018). *bricogeek.com*. Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/shields-arduino/837-arduino-cnc-shield-v3.html>
- Gerling, H. (2006). *Alrededor de las Máquinas y Herramientas*. España: Reverté.
- Jadiaz. (21 de 01 de 2016). *Mi Arduino*. Obtenido de <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology*. Singapore: Pearson.
- Mosconi, I. O. (2018). *es.scribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/139600677/MOTOR-PASO-A-PASO-pdf>
- Nelly, A. (14 de Diciembre de 2018). *Tipos de máquinas CNC*. Obtenido de Cuida tu dinero.com: <https://www.cuidatudinero.com/13176145/tipos-de-maquinas-cnc>
- Pérez, J. (26 de 09 de 2012). *prezi.com*. Obtenido de <https://prezi.com/xhygouqemljz/fuente-de-alimentacion-conmutada/>
- Tbimotion. (2019). Ball Screw. *Tbimotion*, 78.

Urquiza. (2018). *cncrodamientos.com*. Obtenido de

<http://www.cncrodamientos.com/contacto.html>

Vinil. (2017). Herramientas de corte y grabado. *Vinil Shop*, 22.

Viwa, I. (2016). *viwacnc.com*. Obtenido de

<http://viwacnc.com/index.php?seccion=articulo&art=48>

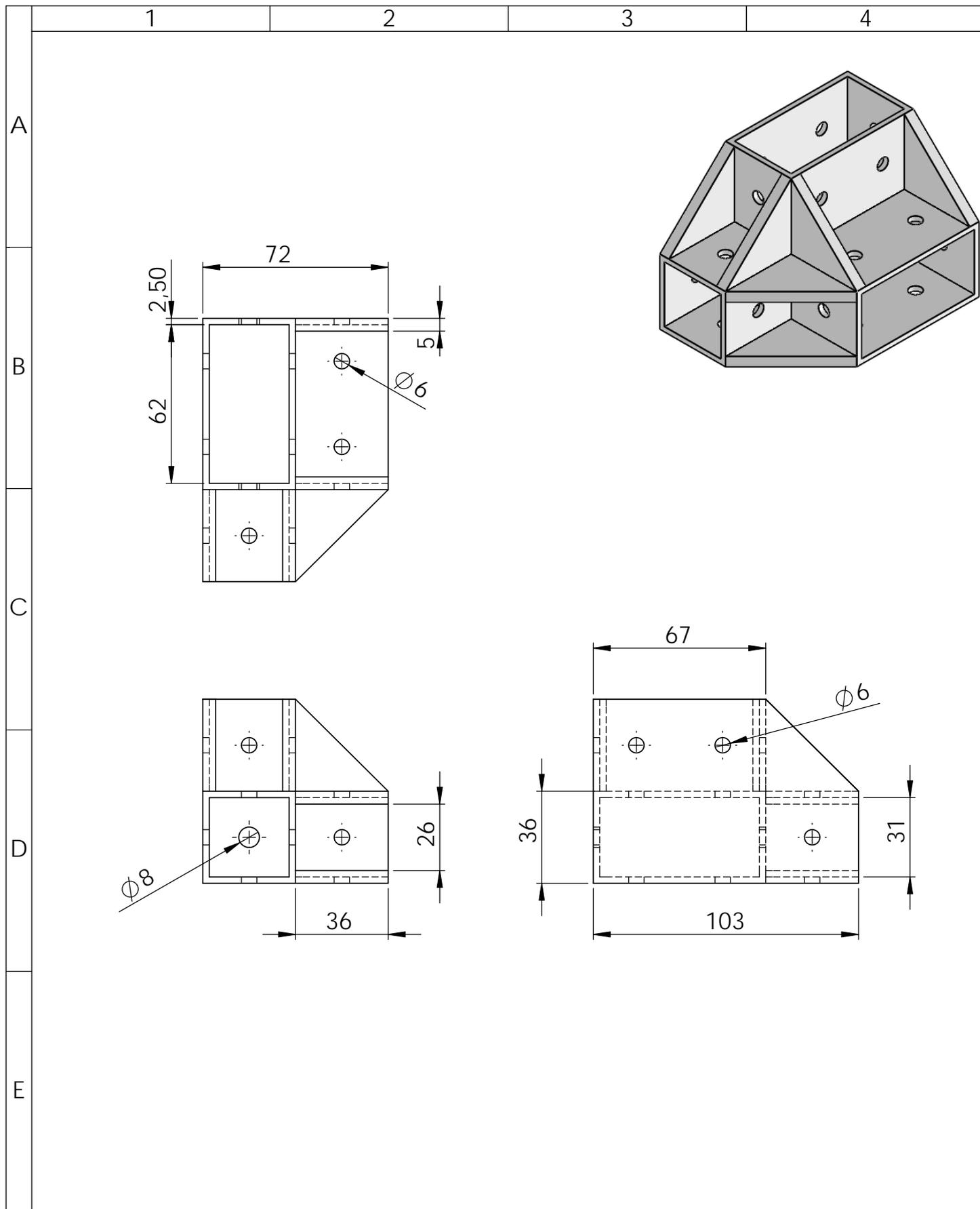
ANEXOS

Anexo 1: Códigos GRBL para la máquina CNC.

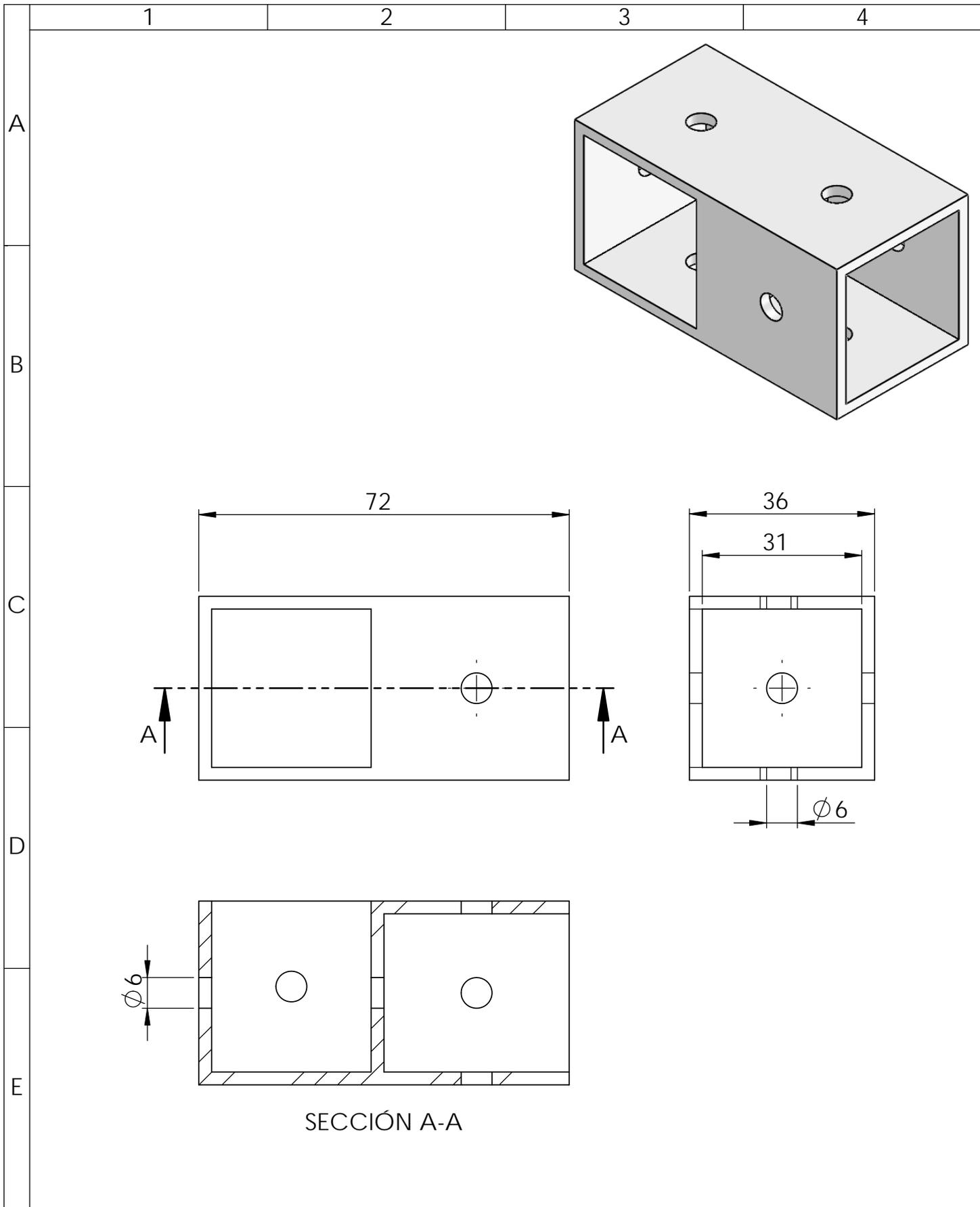
- **G0, G1:** Movimientos Lineales
- **G2, G3:** Arcos y movimientos helicoidales
- **G4:** Pausa
- **G10 L2, G10 L20:** Establecer compensaciones de coordenadas de trabajo
- **G17, G18, G19:** Selección de plano
- **G20, G21:** Unidades
- **G28, G30:** Ir a la posición predefinida
- **G28.1, G30.1:** Setear la posición predefinida
- **G38.2:** Sondeo
- **G38.3, G38.4, G38.5:** Sondeo
- **G40:** Modos de compensación del radio del cortador solo desactivados
- **G43.1, G49:** Desplazamientos de longitud de herramienta dinámica
- **G53:** Mover en coordenadas absolutas
- **G54, G55, G56, G57, G58, G59:** Sistema de coordenadas de trabajo
- **G61:** Modos de control de trayectoria
- **G80:** Cancelar modo de movimiento
- **G90, G91:** Modos de distancia
- **G91.1:** Modos de distancia de arco IJK
- **G92:** Compensación de coordenadas
- **G92.1:** Borrar las compensaciones del sistema de coordenadas
- **G93, G94:** Modos de avance
- **M0, M2, M30:** Pausa y fin del programa
- **M3, M4, M5:** Control de husillo
- **M7, M8, M9:** control de refrigerante
- **M56:** Control de anulación de movimiento estacionar

Anexo 2

Planos Mecánicos



				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 15g	Materiales: PLA		
						Denominación: SOPORTE POSTERIOR	Escala: 1:2	
				Div.	02-07-19		CRIOLLO J.	
				Rev.	02-07-19		VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.		
				Firma:			Número del dibujo: CÍME-TESIS-003	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución: 1 DE 1	



SECCIÓN A-A

				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 10g	Materiales: PLA		
						Denominación: ACOPLE SUPERIOR	Escala: 1:1	
				Div.	02-07-19		CRIOLLO J.	
				Rev.	02-07-19		VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.		
				Firma:		Número del dibujo: CIME-TESIS-004	Registro: 	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución: 1 DE 1		

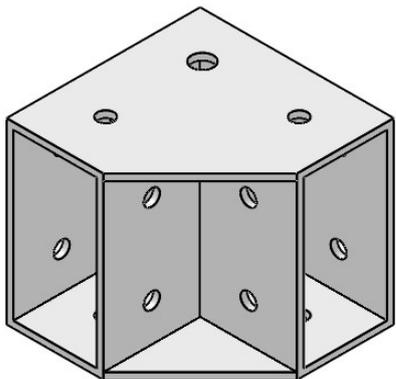
1

2

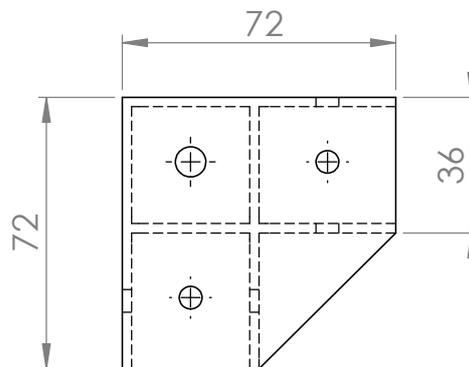
3

4

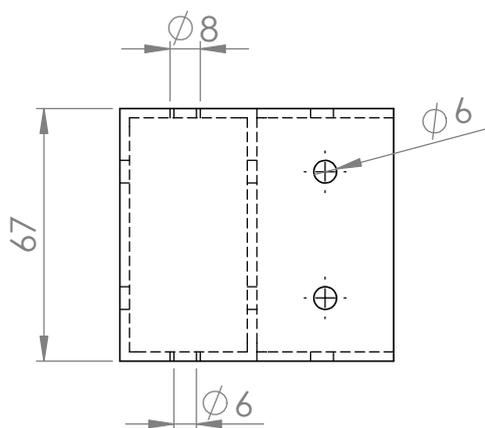
A



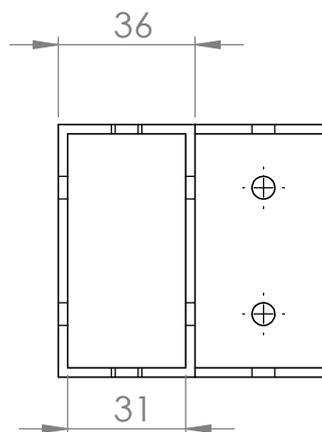
B



C

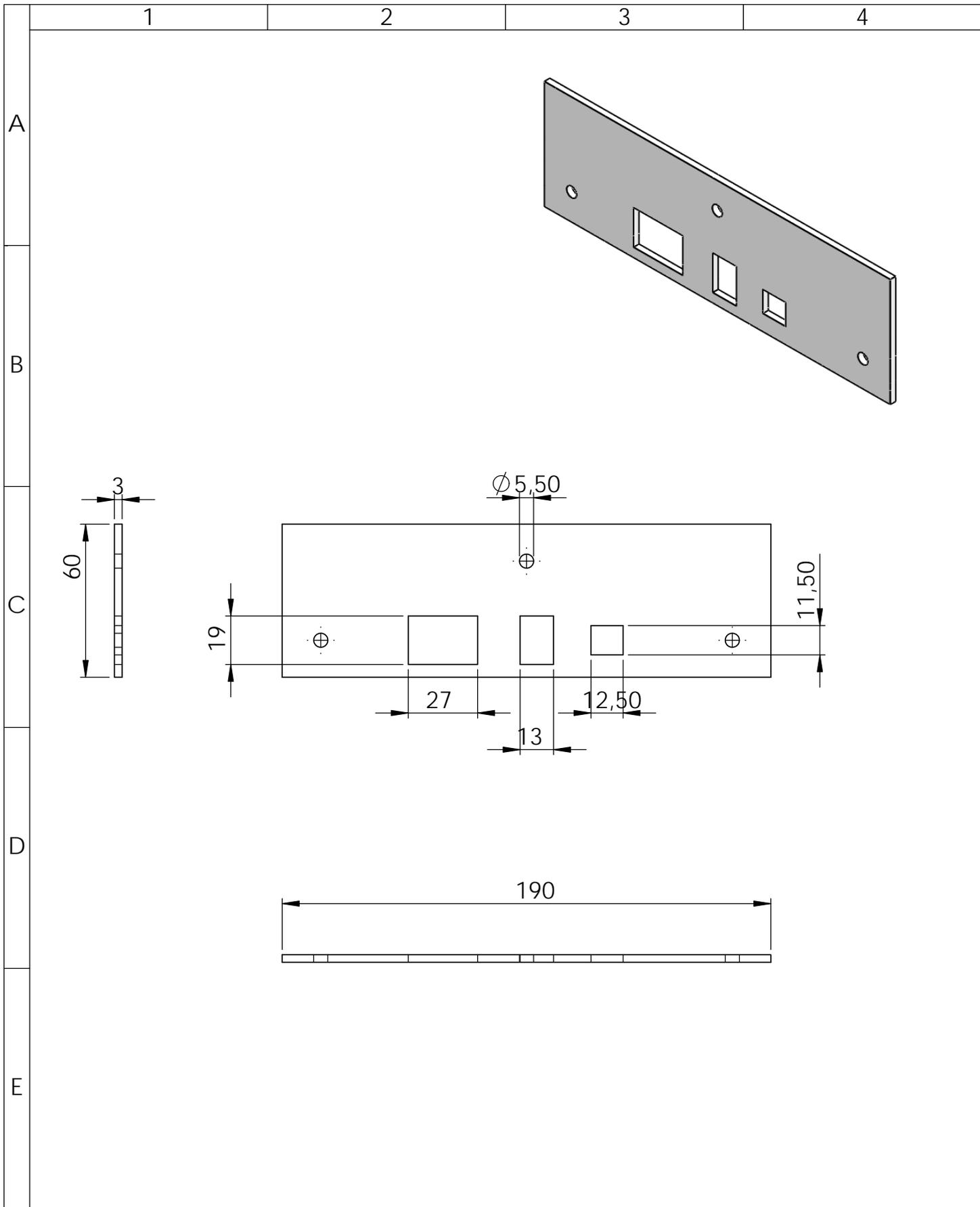


D

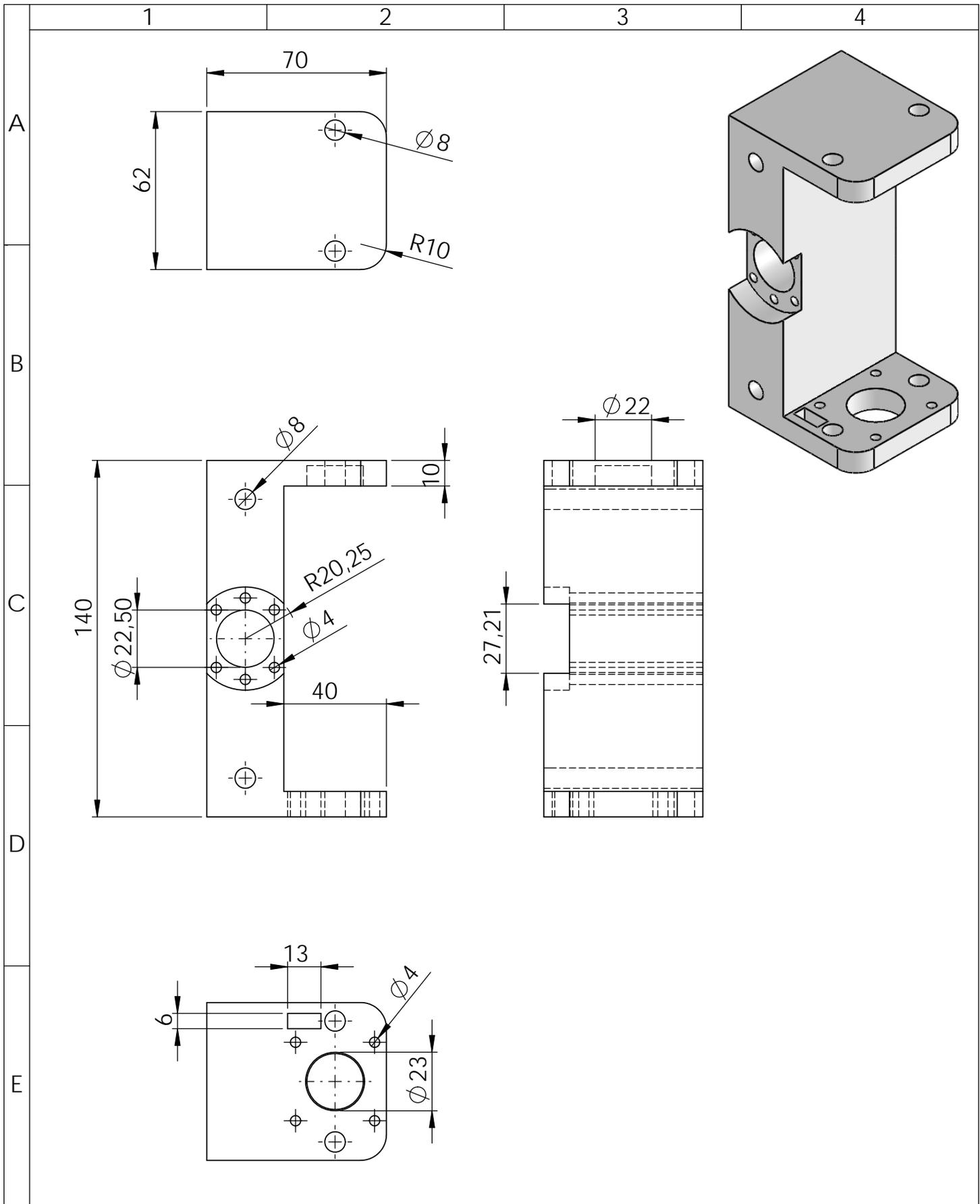


E

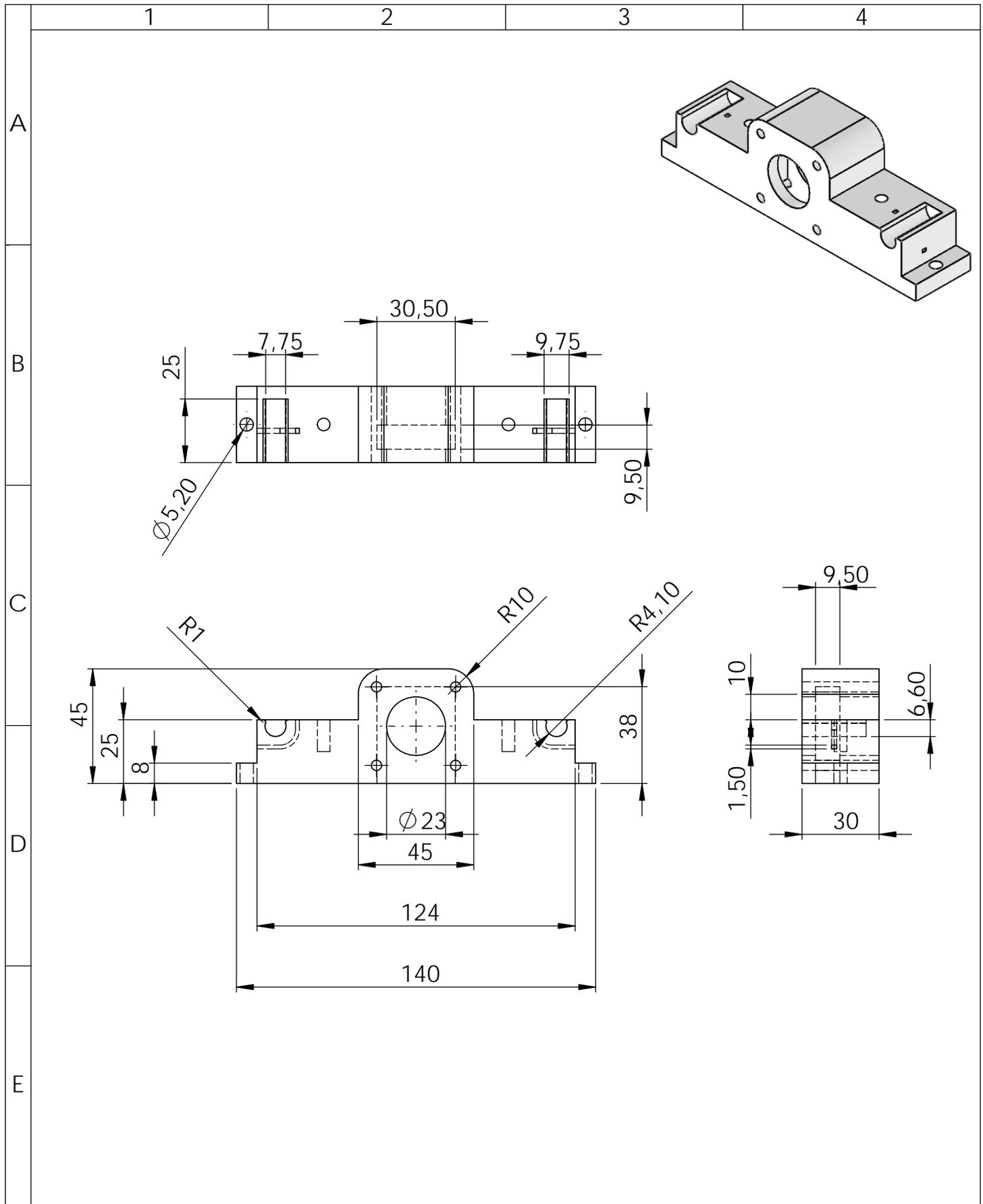
				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 10g	Materiales: PLA		
						Denominación: SOPORTE DELANTERO	Escala: 1:2	
				Div.	Fecha		Nombre	
				Rev.	02-07-19		VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.		
				Firma:		Número del dibujo: CIME-TESIS-005	Registro: 	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	1 DE 1	



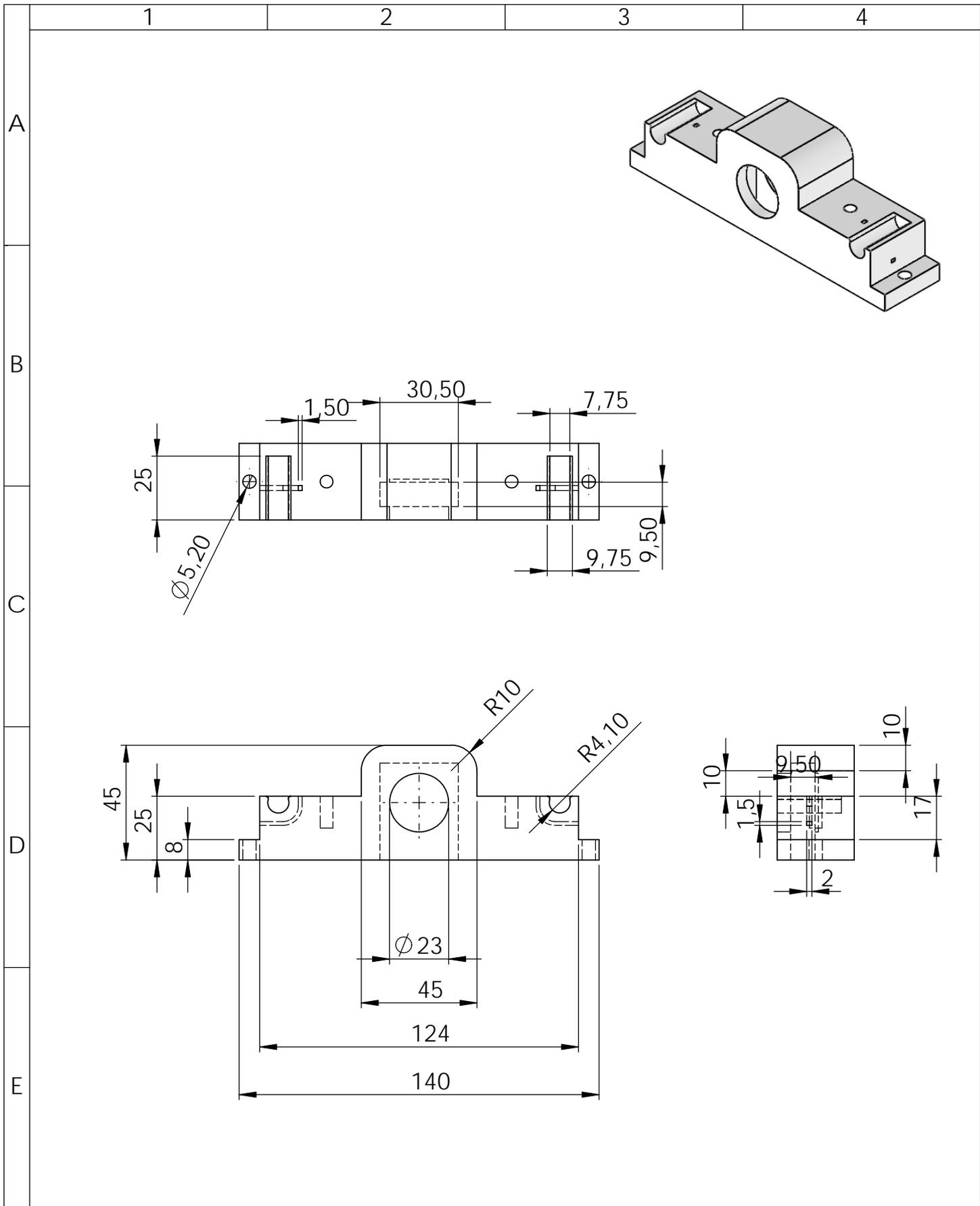
				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 5g	Materiales: PLA		
						Denominación: TAPA POSTERIOR	Escala: 1:2	
				Div.	02-07-19		CRIOLLO J.	
				Rev.	02-07-19		VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.		
				Firma:		Número del dibujo: CIME-TESIS-006	Registro: 	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución: 1 DE 1		



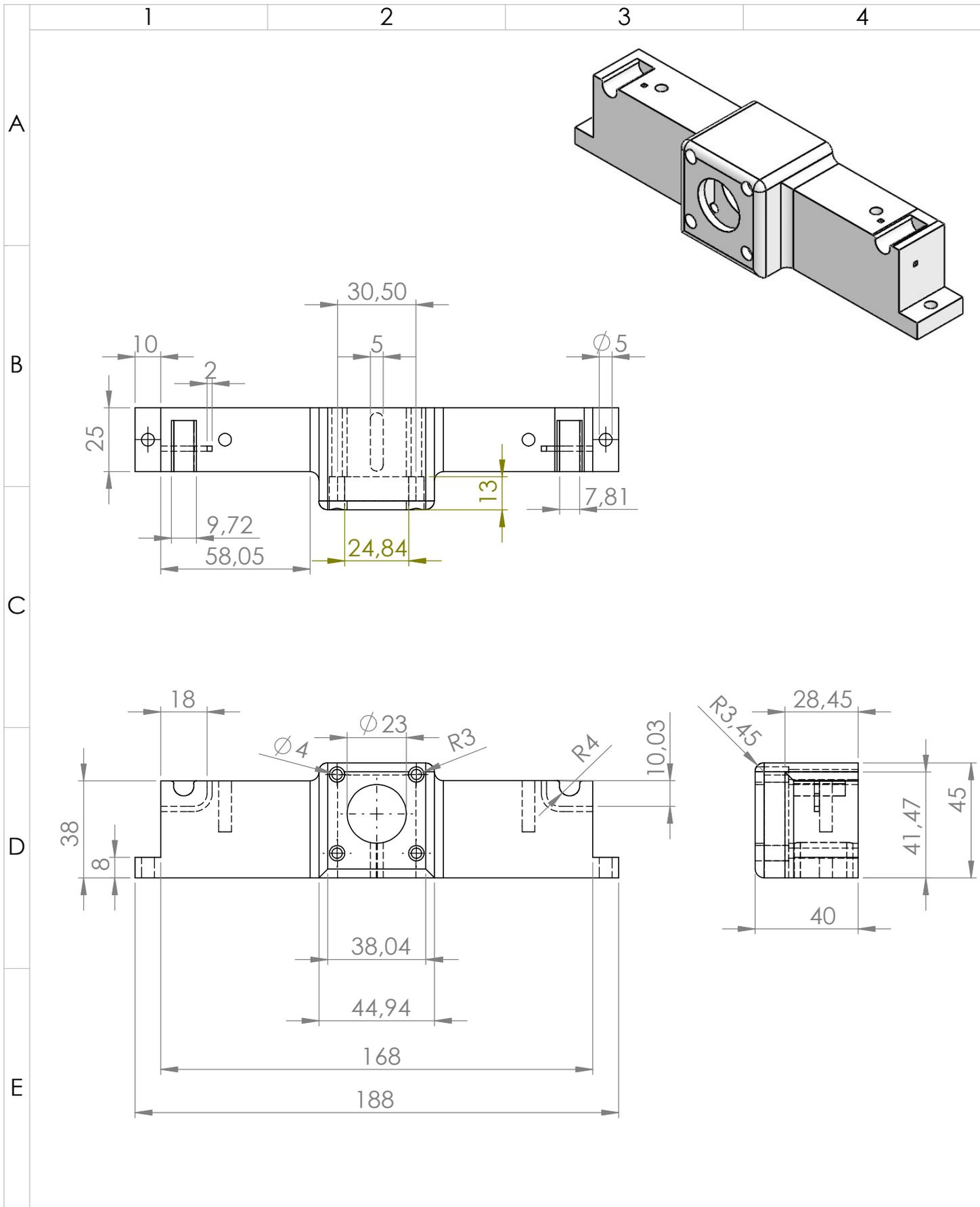
				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 20g	Materiales: PLA		
						Denominación: BASE DEL EJE Z	Escala: 1:2	
				Div.	02-07-19		CRIOLLO J.	
				Rev.	02-07-19		VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.		
				Firma:		Número del dibujo: CÍME-TESES-007	Registro: 	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución: 1 DE 1		



				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 18g	Materiales: PLA		
						Denominación: SOPORTE DEL EJE X	Escala: 1:2	
				Div.	Fecha		Nombre	
				Rev.	02-07-19		VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.		
				Firma:			Número del dibujo: CÍME-TESES-009	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución: 1 DE 2	



				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 18g	Materiales: PLA	
						Denominación: SOPORTE DEL EJE X	Escala: 1:2
				Div.	02-07-19	CRIOLLO J.	
				Rev.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Firma:		Número del dibujo: CÍME-TESES-010	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución: 2 DE 2	



				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 1Kg	Materiales: PLA	
				Div.	Fecha	Nombre	Denominación: SOPORTE DEL EJE Y
				Rev.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Firma:			Número del dibujo: CIME-TESIS-012
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Registro:
						Sustitución: 2 DE 2	



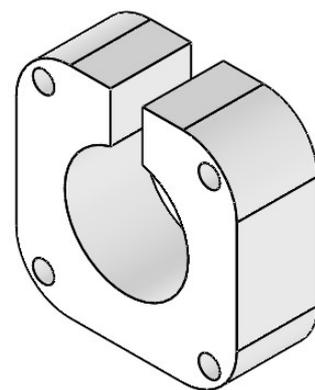
1

2

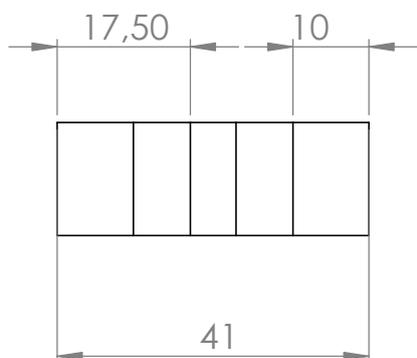
3

4

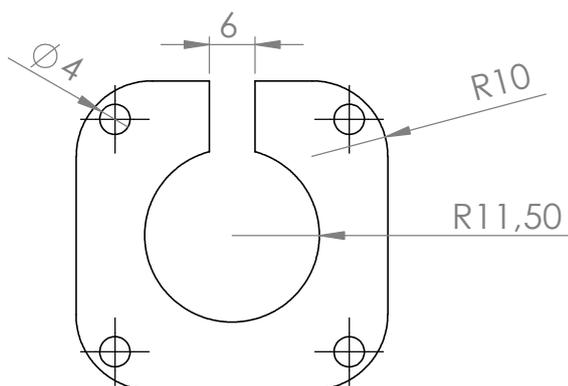
A



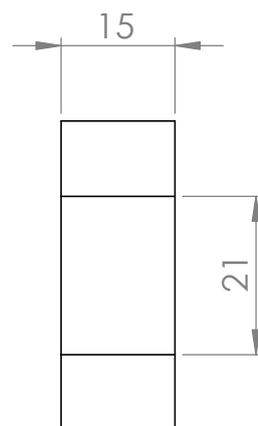
B



C



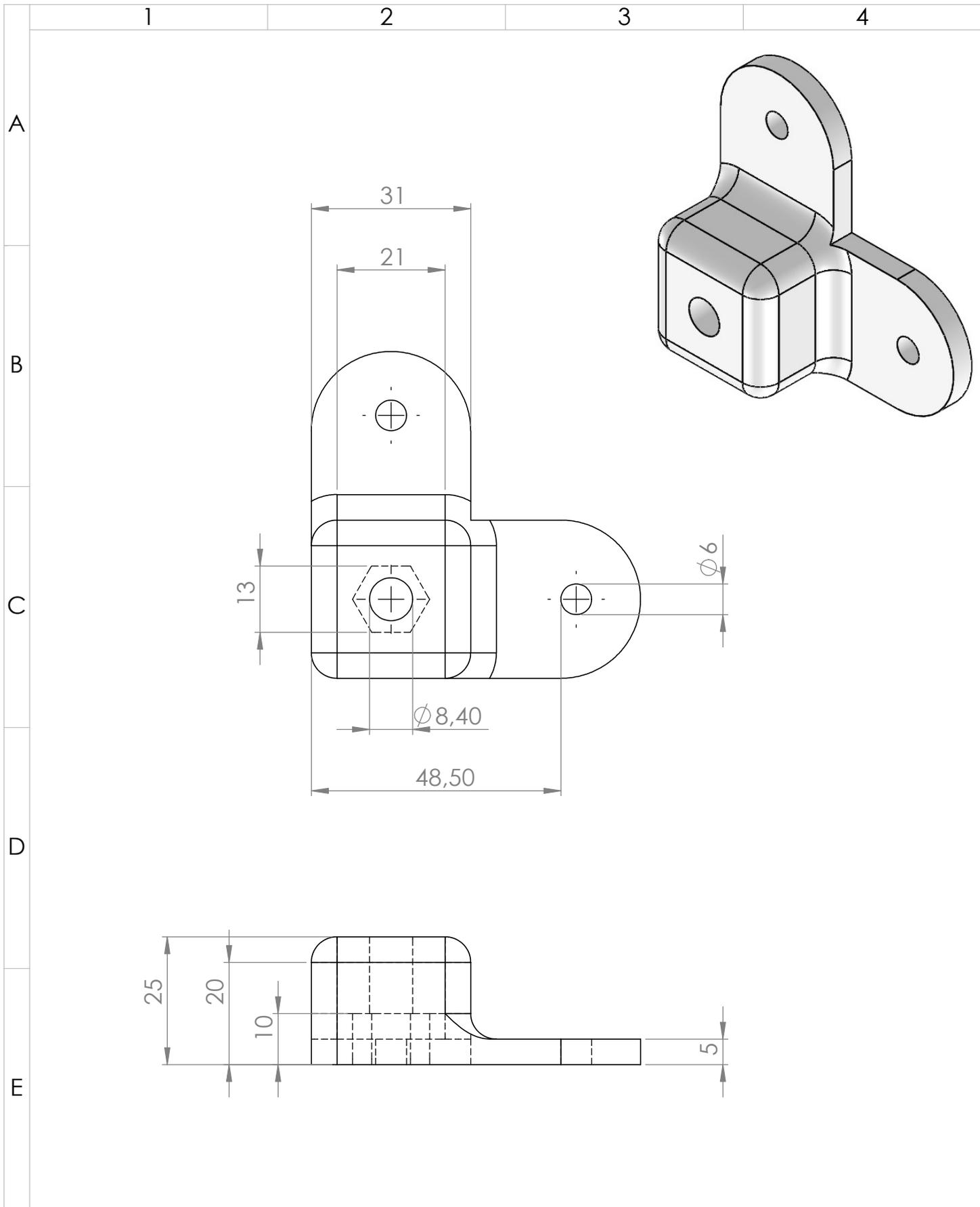
D



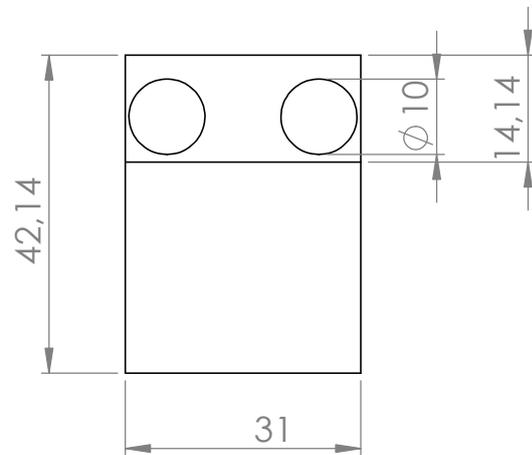
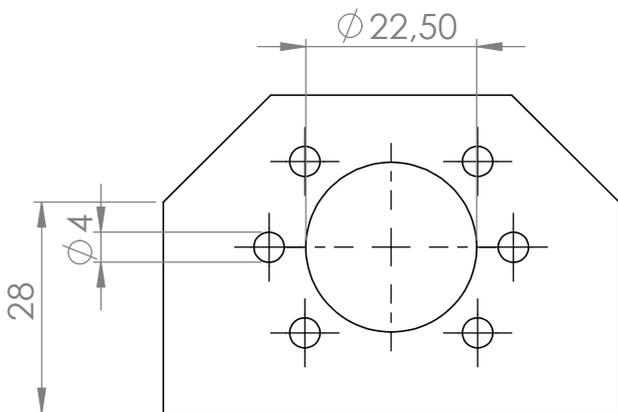
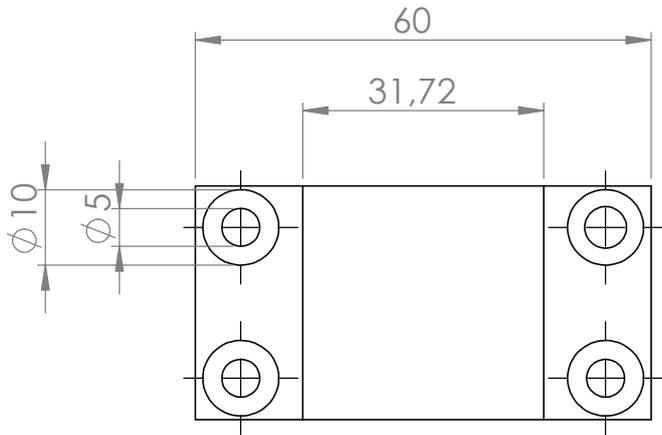
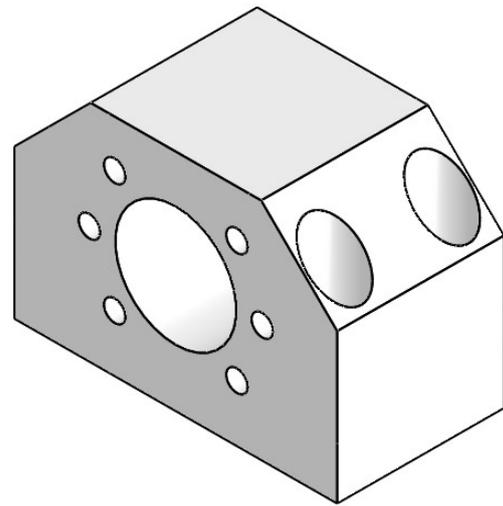
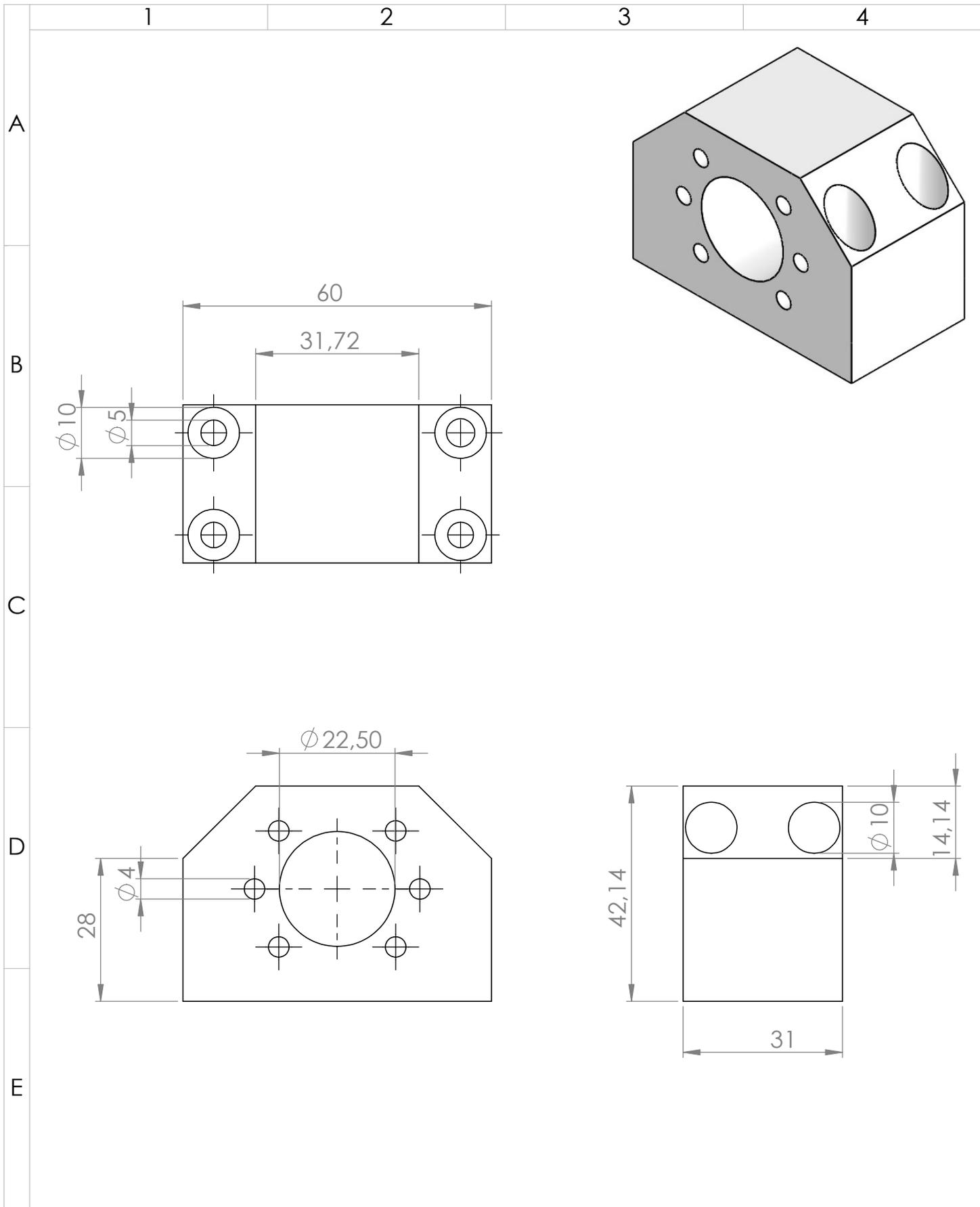
E

				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 9g	Materiales: PLA	
						Denominación:	Escala:
				Div.	02-07-19	CRIOLLO J.	SOPORTE DEL MOTOR EJE X 1:1
				Rev.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Firma:		Número del dibujo: CIME-TESIS-013	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	1 DE 1

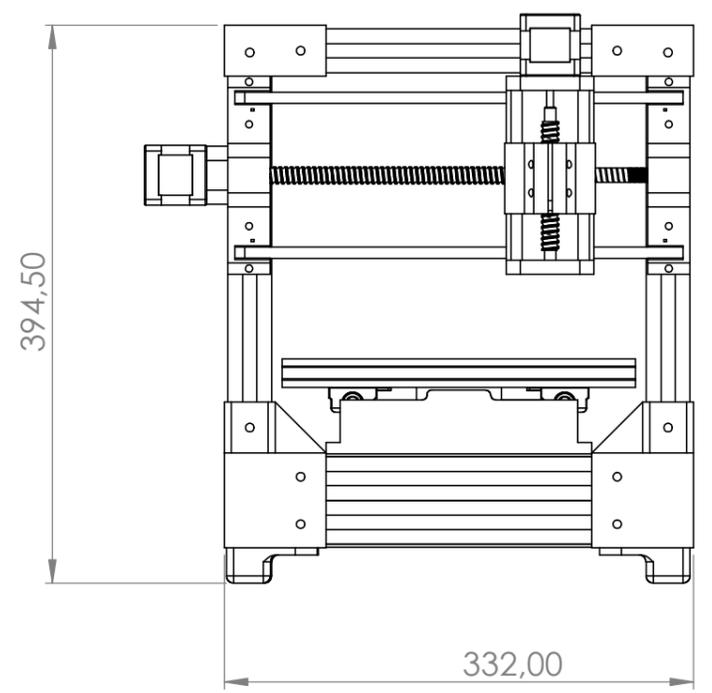
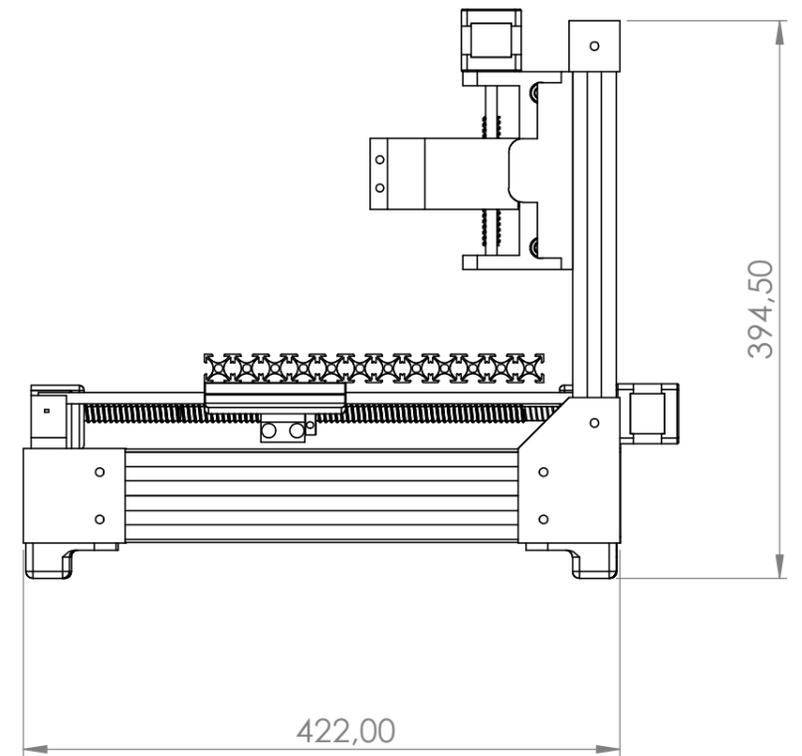
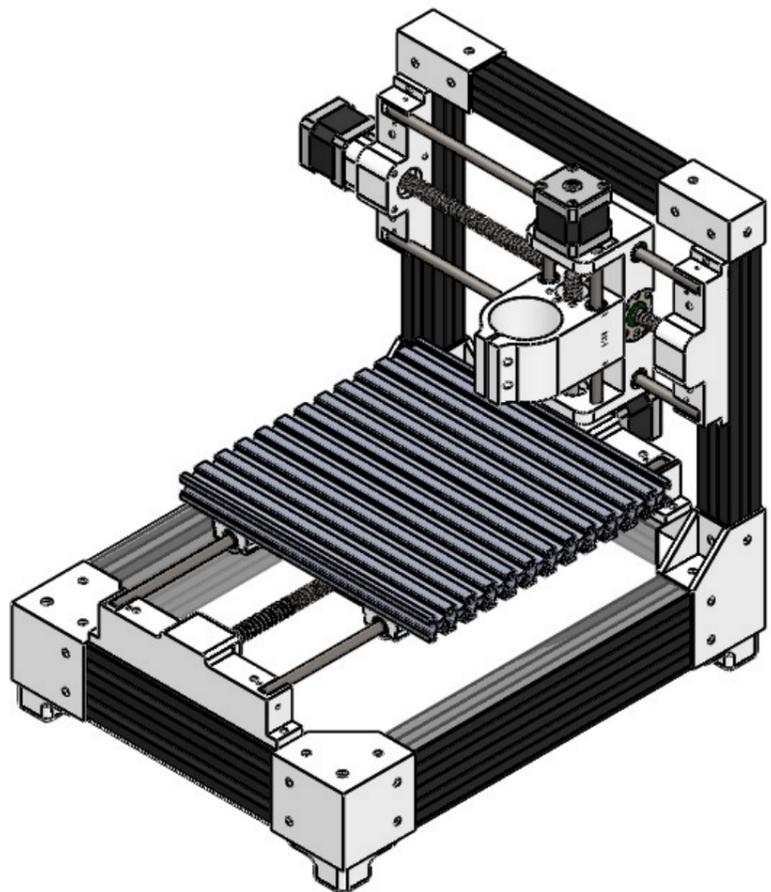


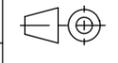


				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 5g	Materiales: PLA	
				Div.	Fecha	Nombre	Denominación: PATAS
				Rev.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Firma:			Número del dibujo: CIME-TESIS-014
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución: 1 DE 1
							Registro:

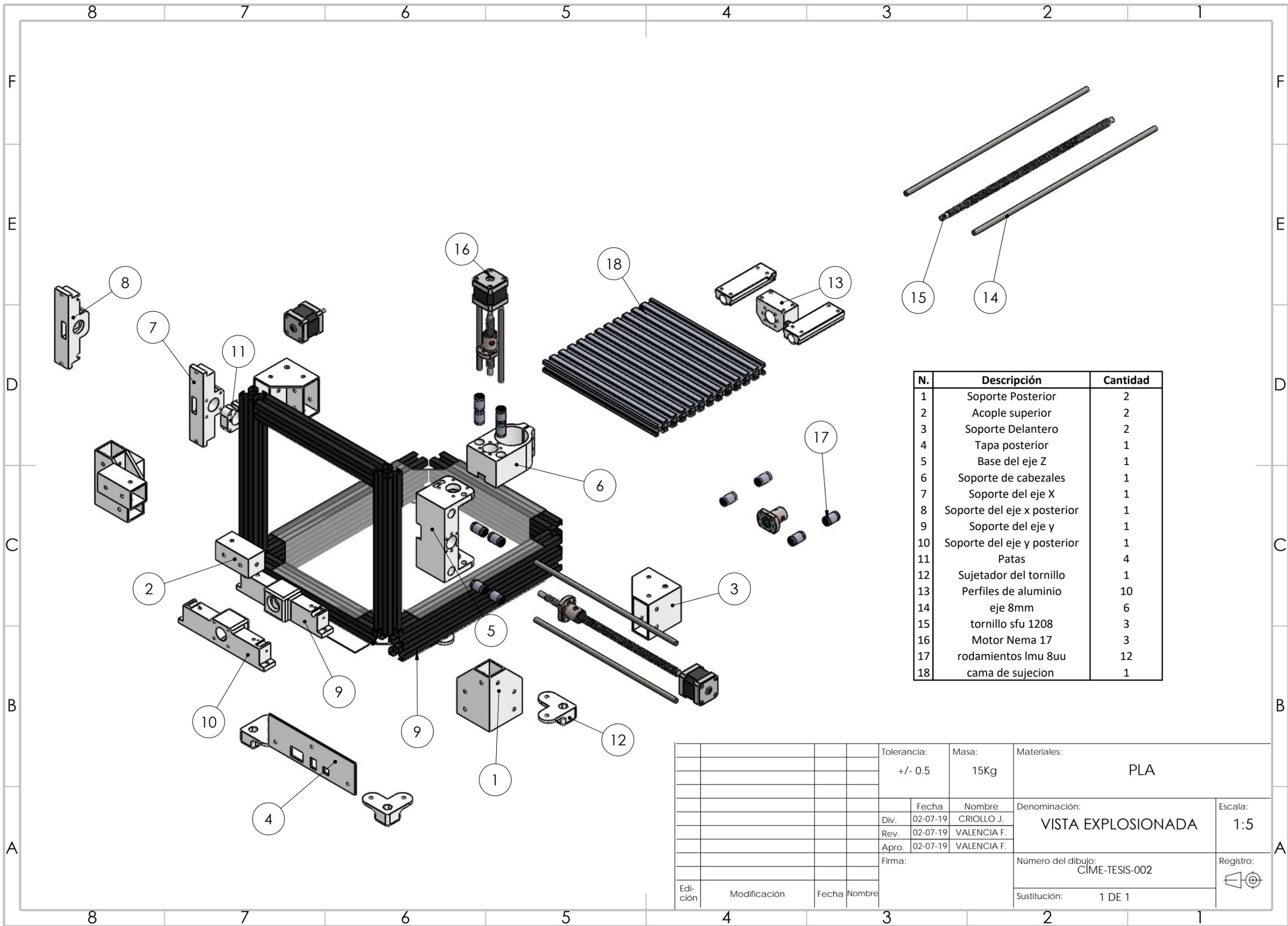


				Tolerancia: +/- 0.5	Masa: 9g	Materiales: PLA	
				Div.	Fecha	Nombre	Denominación:
				Rev.	02-07-19	CRIOLLO J.	SUJETADOR DEL TORNILLO
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.	Escala: 1:1
				Firma:			Número del dibujo: CIME-TESIS-015
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Registro:
						Sustitución:	1 DE 1



				Tolerancia:	Masa:	Materiales:	
				+/- 0.5	15Kg	PLA	
						Denominación:	Escala:
				Div.	Fecha	Nombre	1:5
				Rev.	02-07-19	VALENCIA F.	ENSAMBLAJE
				Apro.	02-07-19	VALENCIA F.	
				Firma:		Número del dibujo:	Registro:
						CÍME-TESES-001	
						Sustitución:	
						1 DE 1	

Edición	Modificación	Fecha	Nombre



N.	Descripción	Cantidad
1	Soporte Posterior	2
2	Acople superior	2
3	Soporte Delantero	2
4	Tapa posterior	1
5	Base del eje Z	1
6	Soporte de cabezales	1
7	Soporte del eje X	1
8	Soporte del eje x posterior	1
9	Soporte del eje y	1
10	Soporte del eje y posterior	1
11	Patas	4
12	Sujetador del tornillo	1
13	Perfiles de aluminio	10
14	eje 8mm	6
15	tornillo sfu 1208	3
16	Motor Nema 17	3
17	rodamientos lmu 8uu	12
18	cama de sujecion	1

Tolerancia:		Masa:		Materiales:	
+/- 0.5		15Kg		PLA	
Fecha		Nombre		Denominación:	
Div.	02-07-19	CRIOLLO J.		VISTA EXPLOSIONADA	
Rev.	02-07-19	VALENCIA F.		Escala:	
Apro.	02-07-19	VALENCIA F.		1:5	
Firma:				Número del dibujo:	
				CIME-TESIS-002	
Edición				Registro:	
Modificación				Sustitución:	
Fecha				1 DE 1	
Nombre					

Anexo 3

Manual de usuario

MANUAL DE USUARIO

**MÁQUINA CNC DE PLACAS ELECTRÓNICAS EN LOS PROCESOS DE
RUTEADO, TALADRADO, CORTADO, PUESTA DE PASTA DE SOLDAR Y
COLOCACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS.**

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.INTRODUCCIÓN DE SEGURIDAD	3
2. DESCRIPCIÓN	4
2.1.CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	4
3. INSTALACIÓN	4
3.1.OBRAS PREVIAS	4
3.2.PROCESO DE INSTALACIÓN	4
4. FUNCIONAMIENTO	5
4.1.DESCRIPCIÓN	5
4.2.PASOS PARA REALIZAR UNA PLACA ELECTRÓNICA.....	6
4.2.1. PASOS A REALIZAR EN PROTEUS.....	6
4.2.2. PASOS A REALIZAR EN EL PROGRAMA FLATCAM.....	10
4.2.3. PROGRAMACIÓN DEL CÓDIGO G MANUALMENTE	16
4.2.4. PASOS A REALIZAR EN EL PROGRAMA bCNC.....	17
4.2.5. CALIBRACIÓN DEL DISPENSADOR DE PASTA	22
4.2.6. CALIBRACIÓN DEL PUNTO CERO PARA LA COLOCACIÓN DE COMPONENTES	23
4.2.7. INTERCAMBIO DE LOS CABEZALES	24
5. MANUAL DE MANTENIMIENTO	26
5.1.GENERAL	26
6. DIAGRAMA DE CONEXIÓN	27
7. SEGURIDADES	28
7.1.PRECAUCIONES GENERALES DE SEGURIDAD	28
7.1.1. SEGURIDAD PERSONAL	28
7.1.2. SEGURIDAD EN LA ZONA DE TRABAJO.....	28
7.1.3. SEGURIDAD EN EL MANTENIMIENTO.....	28

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN DE SEGURIDAD

ADVERTENCIA – LEER ANTES DE TRABAJAR CON ESTA MÁQUINA

Fallos en la observancia de las siguientes de las instrucciones pueden ocasionar lesiones en el personal o daños en la máquina.

- No quitar las placas de instrucciones de la máquina. Estas placas deben ser legibles en todo momento.
- Las cubiertas de la electrónica no debe estar destapada. Destaparla puede ocasionar daños electrónicos.
- Cuando la máquina está siendo reparada la tensión debe estar desconectada.
- No poner las manos u objetos sobre la máquina cuando esté en funcionamiento.

<p>ES RESPONSABILIDAD DEL USUARIO EL ESTAR SEGURO DE QUE LA MAQUINARIA ESTÁ EN PERFECTAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN TODO MOMENTO Y QUE EL OPERARIO CUMPLA TODAS LAS NORMAS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO APROPIADAS QUE SE INDICAN EN EL MANUAL Y EN LAS PLACAS DE ADVERTENCIA E INSTRUCCIONES.</p>

2. DESCRIPCIÓN

2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A continuación, se describe las características de los diferentes componentes de la máquina.

La máquina CNC de placas electrónicas está compuesta 3 ejes de movimiento en los planos X, Y y Z, los cuales son los encargados de mover los mecanismos como (Husillo, Dispensador de pasta de soldar y Colocación de componentes).

El husillo es activado para generar el ruteado, perforado y cortado.

- Herramienta para el ruteado (fresa punta de lanza a 60 grados).
- Herramienta para el perforado (brocas de diferentes diámetros de medida).
- Herramienta para el cortado de la baquelita (fresas cilíndricas de 2mm de diámetro).

Dispensador de pasta de soldar es el encargado de empujar pasta de una jeringa de 10cc con una punta de 1 mm de diámetro que coloca puntos de pasta en el circuito impreso.

Colocación de componentes electrónicos en la placa mediante un sistema de succión.

3. INSTALACIÓN

3.1. OBRAS PREVIAS

Se debe disponer de una toma de corriente a 110 VAC.

Es aconsejable instalar la máquina en una mesa o base con el suelo nivelado, donde no haya grandes diferencias de temperaturas y humedades, buena limpieza, ya que las malas condiciones ambientales pueden repercutir en el correcto funcionamiento y en la vida de la máquina.

3.2. PROCESO DE INSTALACIÓN

Para instalar máquina se debe seguir una secuencia para facilitar el montaje.

Ubicar la máquina mediante la nivelación de las patas de la misma.

Realizar la conexión de la fuente de alimentación

Realizar la conexión hacia una computadora con el software bCNC previamente ya instalado. Información del programa bCNC en:

https://github.com/vlachoudis/bCNC?fbclid=IwAR3jUeLL5iOvoWxrN27cD_MDMUMseiSdbsr9d7UUns_a4ZbOyhQSZ2GILDA

Colocar el cabezal de acuerdo a la actividad que se vaya a realizar.

4. FUNCIONAMIENTO

4.1. DESCRIPCIÓN

La máquina dispone de un interruptor ON/OFF, y el puerto de conexión USB2.0 B, para conectar a la máquina con la PC.



Figura 1. Tablero de encendido y conexión de la máquina

Se conecta la máquina al PC para realizar los movimientos en los tres ejes y el control de los cabezales por medio del software bCNC para lo cual es necesario configurar el puerto COM a 115200 Bits.

Pantalla principal del software bCNC.

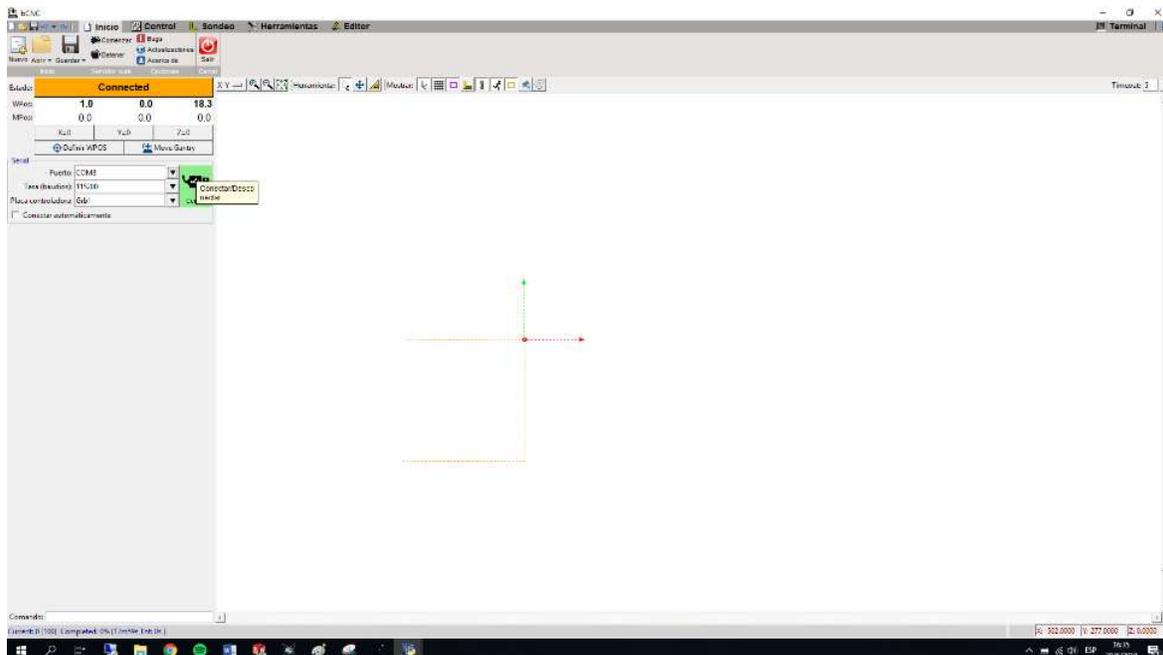


Figura 2: Pantalla del software bCNC de la máquina.

Tablero de la interface de control principal.

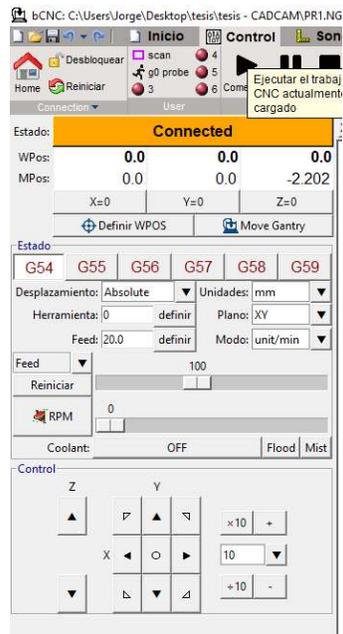


Figura 3: Control principal de la máquina.

4.2.PASOS PARA REALIZAR UNA PLACA ELECTRÓNICA

- 1.- Verificar que las conexiones estén listas y encender la máquina y el PC.
- 2.- Abrir el software proteus y flatcam.

4.2.1. PASOS A REALIZAR EN PROTEUS.

- 1.- Diseño de la placa en el software proteus de acuerdo al circuito a usar.

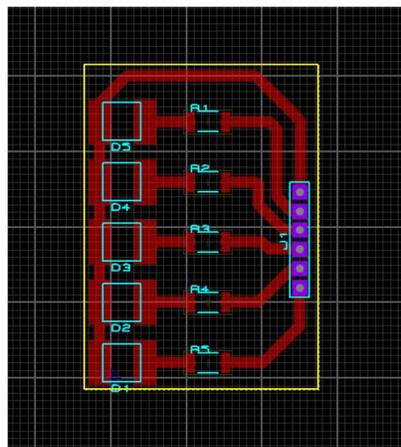


Figura 5: Diseño de un modelo del circuito.

2.- Para generar el código gerber realizar los siguientes pasos indicados a continuación.

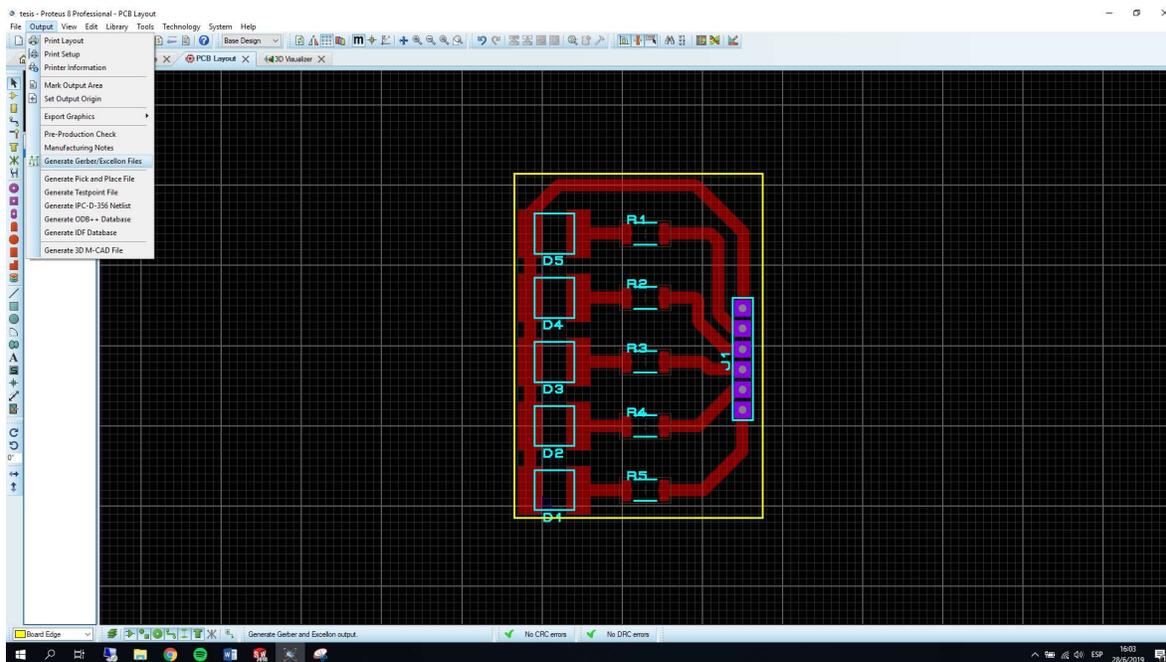


Figura 6: Pantalla del software proteus.

3.- Abrir Output y seleccionar Generate Gerber en Proteus como se muestra en la figura 7.

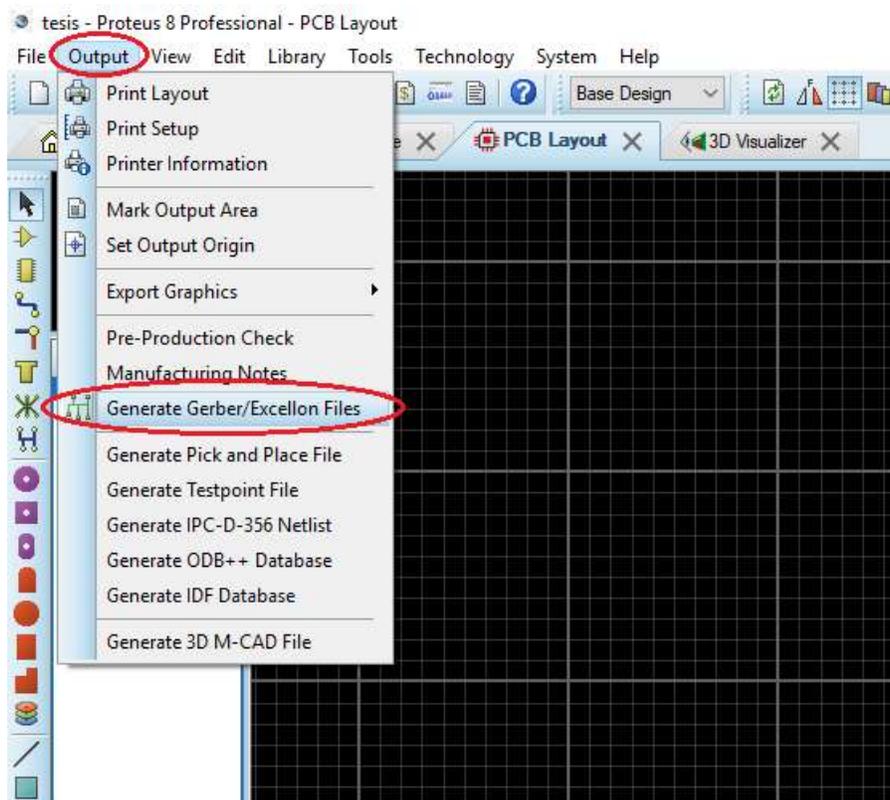


Figura 7: Como generar el código G.

4.- Verificar si se abre la pantalla de CAD/CAM.

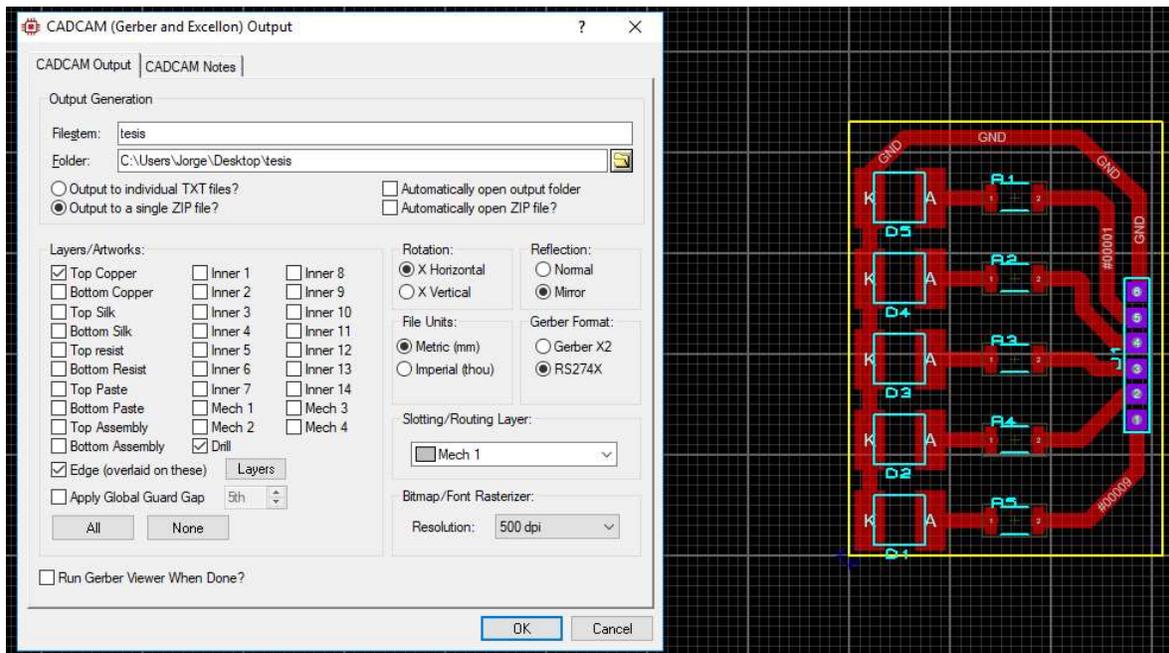


Figura 8: Pantalla para parametrizar el CAD/CAM.

5.- Seleccionar los siguientes puntos señalados en la figura 9 para parametrizar el CAD/CAM del código Gerber, luego poner OK.

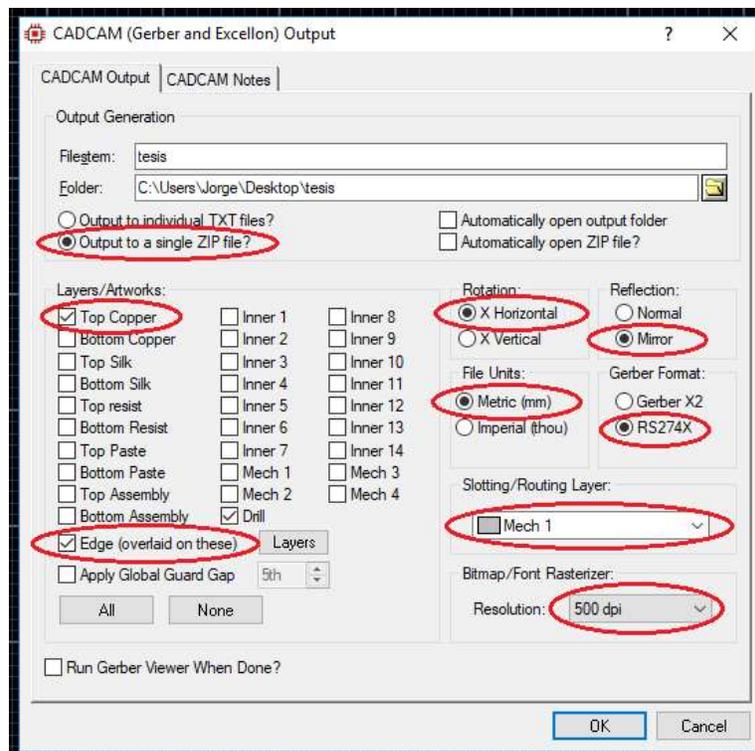


Figura 9: Puntos parametrizados para generar el código G.

6.- Nos dirigimos a la carpeta donde se guardo el archivo generado por el software Proteus, seleccionamos la carpeta y la extraemos asi como se indica en la siguiente *figura 11*.

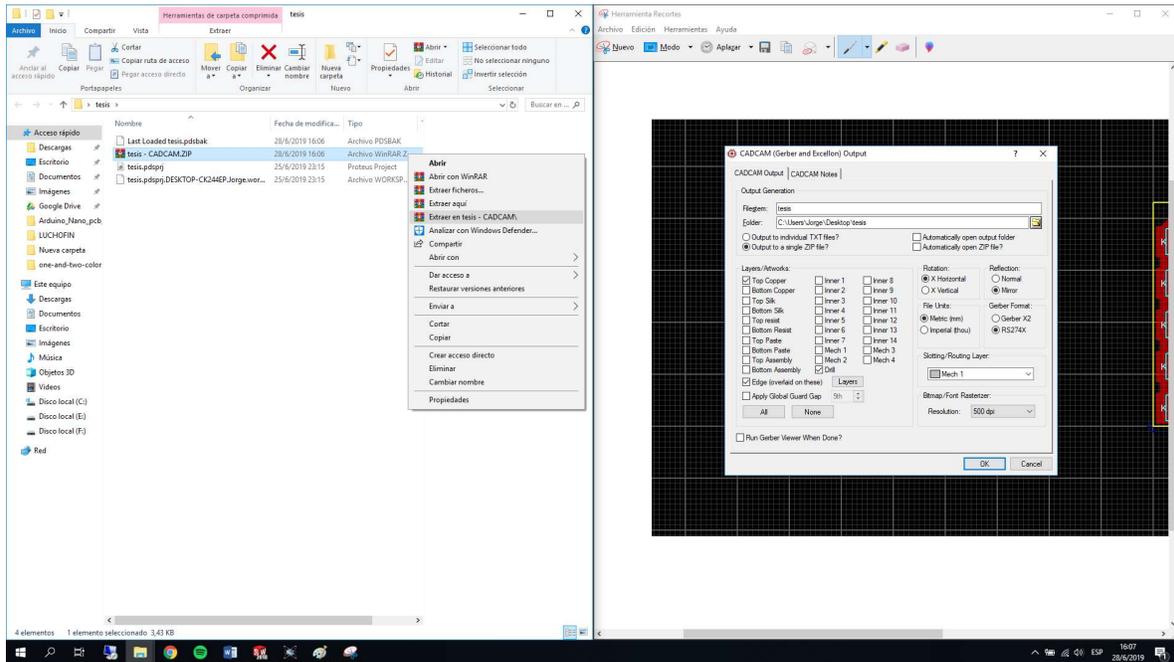


Figura 10: Carpeta donde se encuentra el CAD/CAM generado.

7.- Pasos para extraer el código.

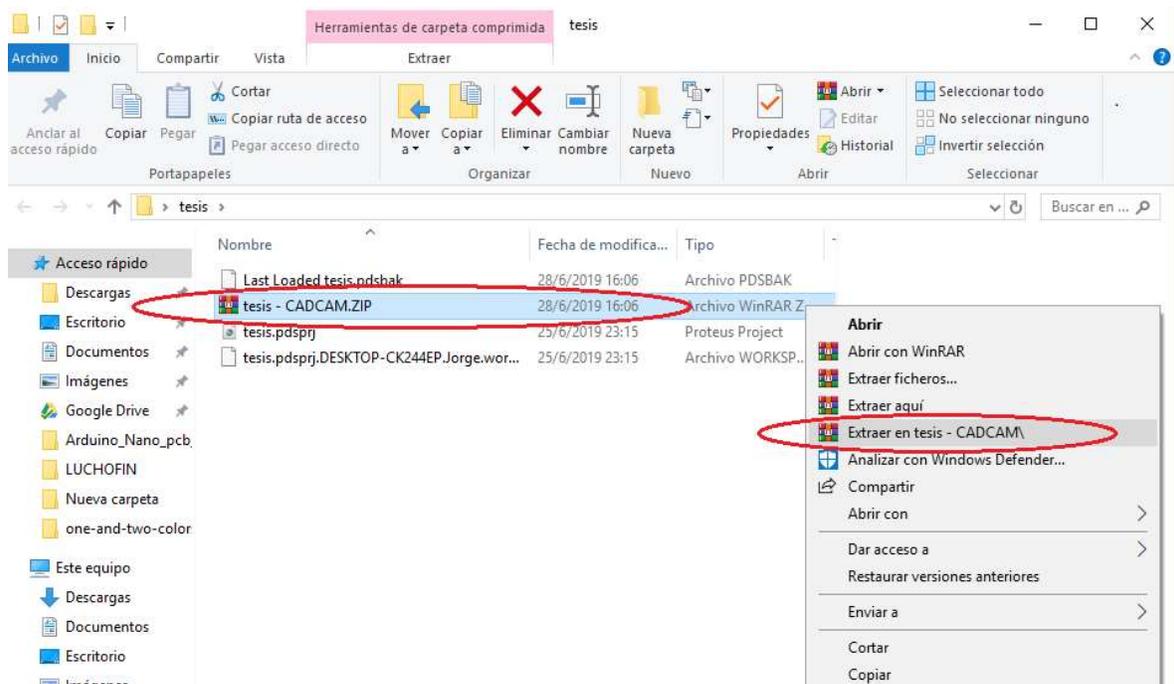


Figura 11: Extraer el código CAD/CAM.

4.2.2. PASOS A REALIZAR EN EL PROGRAMA FLATCAM.

1.- Abrir el programa flatcam.

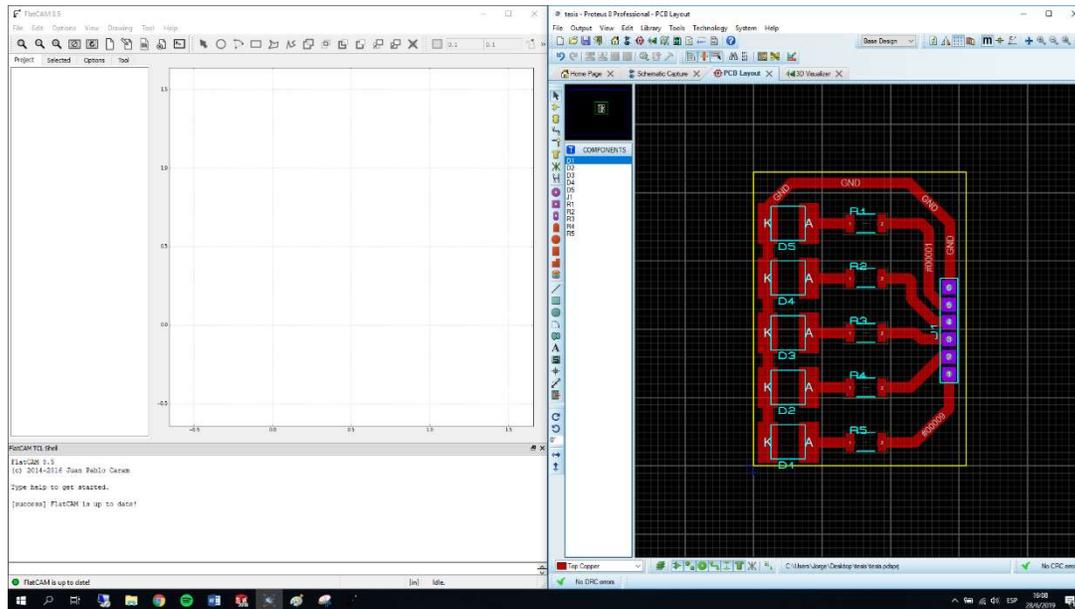


Figura 12: Pantalla principal del software de flatcam.

2.- Abrir el documento generado por proteus.

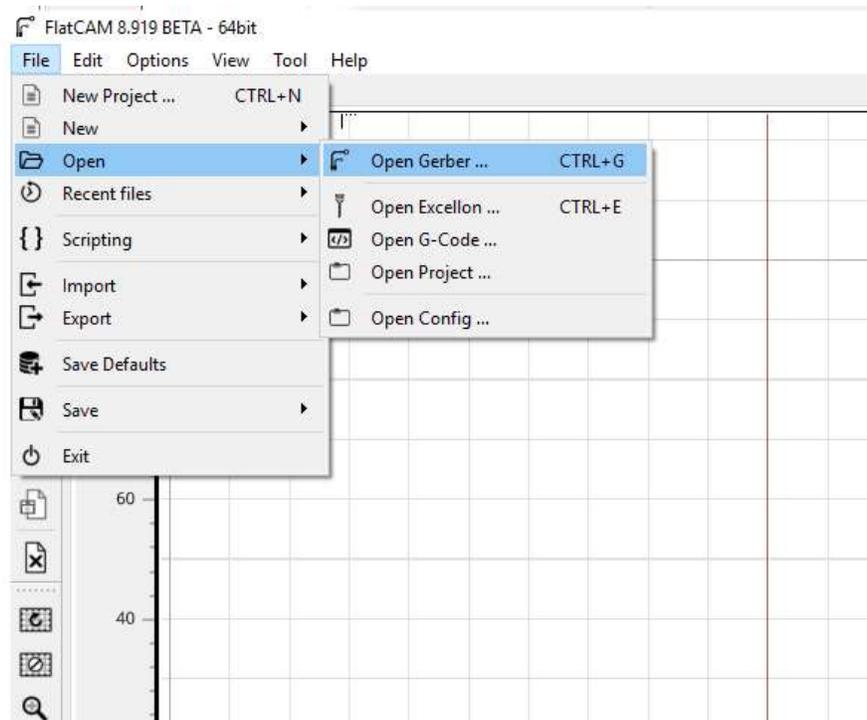


Figura 13: Como abrir el código gerber en flatcam.

3.- Seleccionar el archivo con código gerber con las características indicadas y abrir.

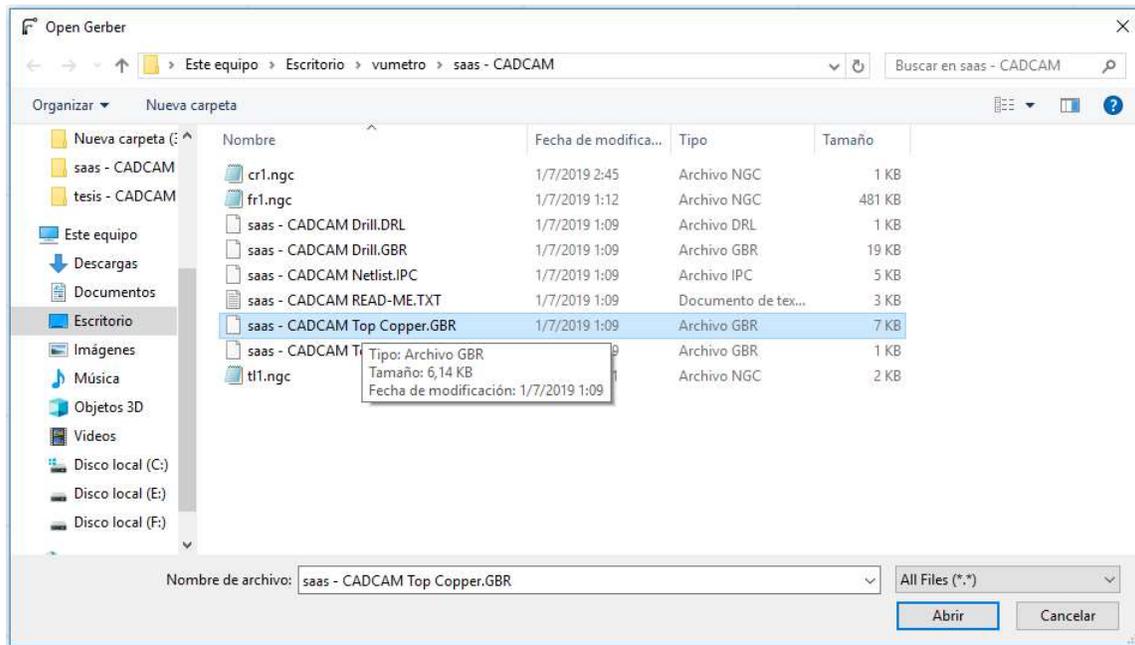


Figura 14: Documento con el código gerber.

4.- Se abre la siguiente interfaz donde ya se observa el diseño de la placa.

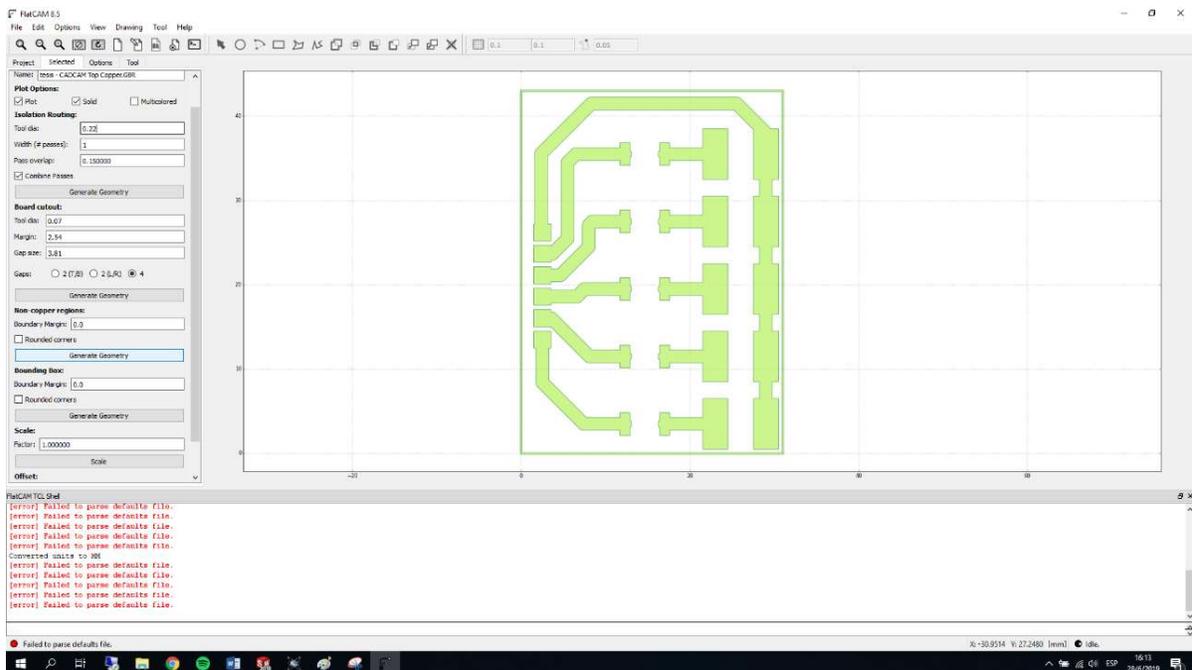


Figura 15: Pantalla del programa flatcam con el código gerber abierto.

5.- Cuadrar el archivo del código gerber para generar el punto cero.

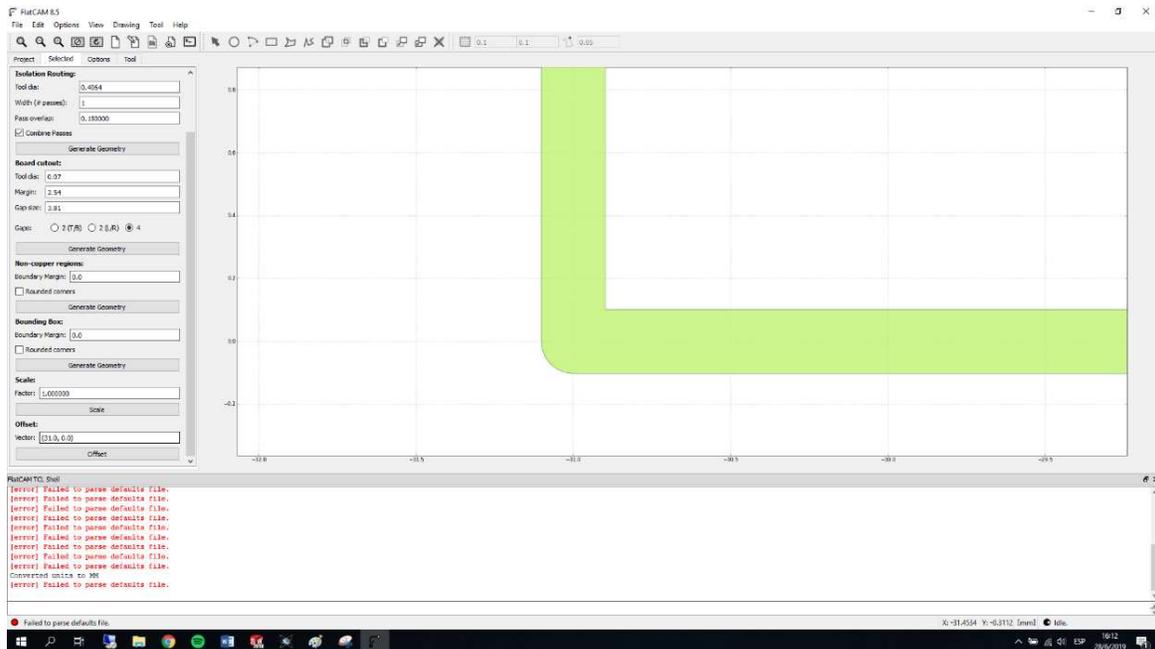


Figura 16: Cuadrar el código gerbet.

6.- Seleccionar el generador indicado en la imagen para generar los bordes.

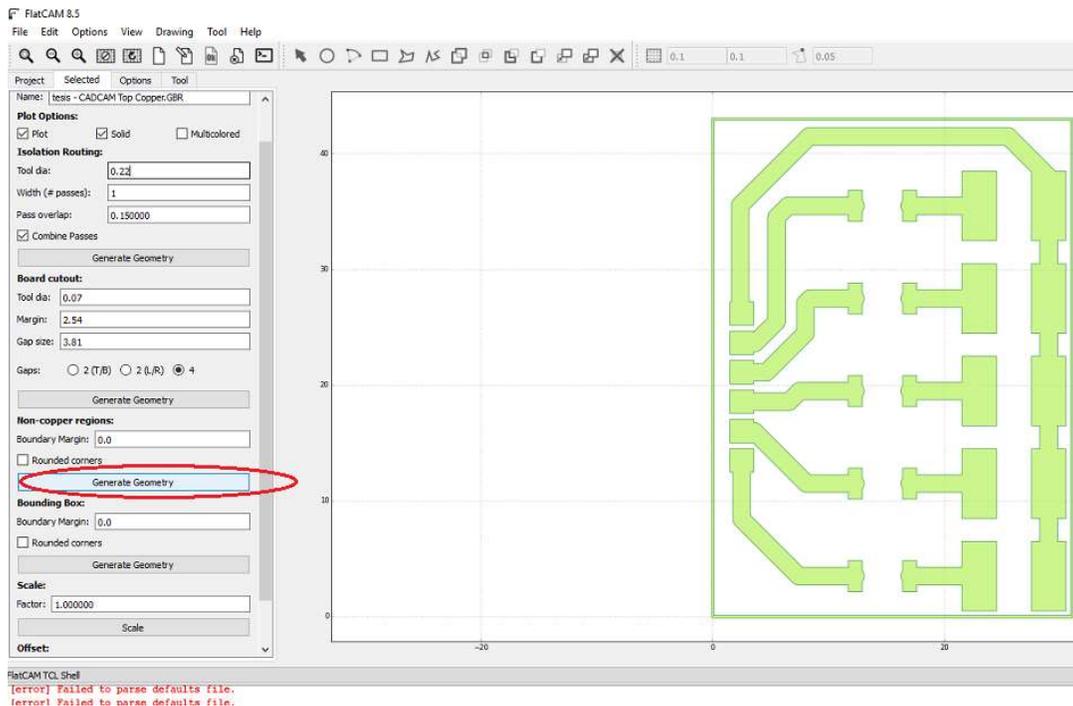


Figura 17: Seleccionar del icono para generar la geometría de la placa.

7.- Seleccionar el icono de la pantalla como se indica en la figura 18.

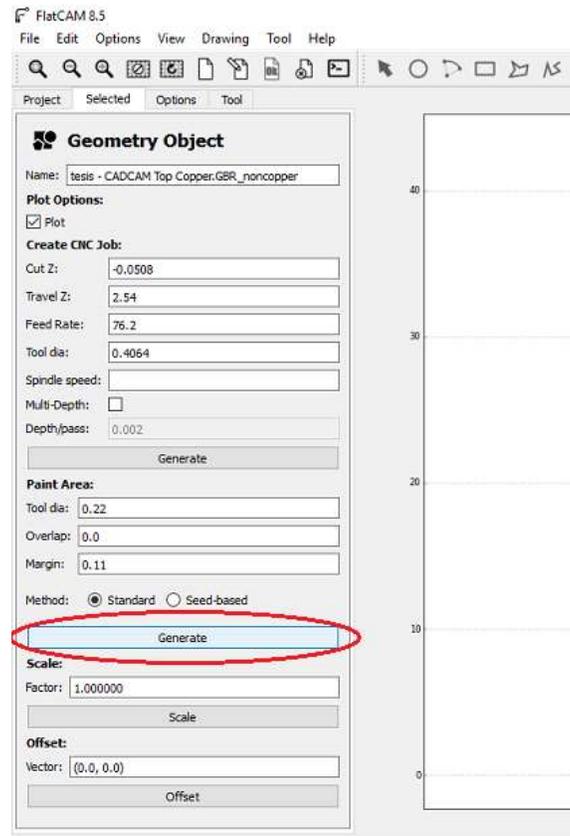


Figura 18: Tablero de selección para generar el trazado de la fresadora.

8.- Se abre la siguiente pantalla como podemos ver en la figura 19.

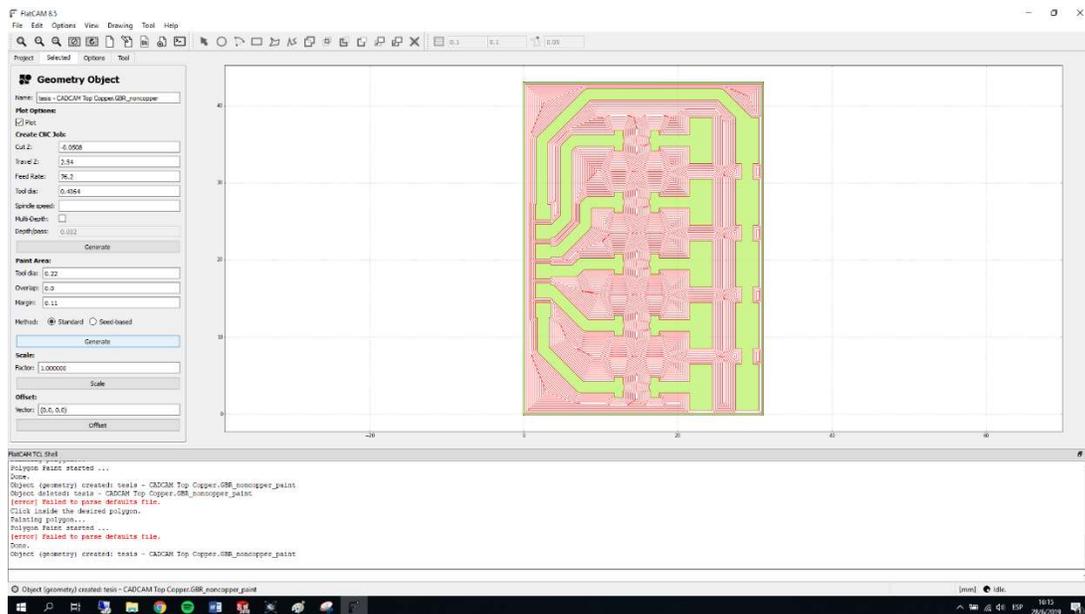


Figura 19: Trayecto de fresado.

9.- Seleccionando el icono indicado en la figura 20 y se ve como genera el código G.

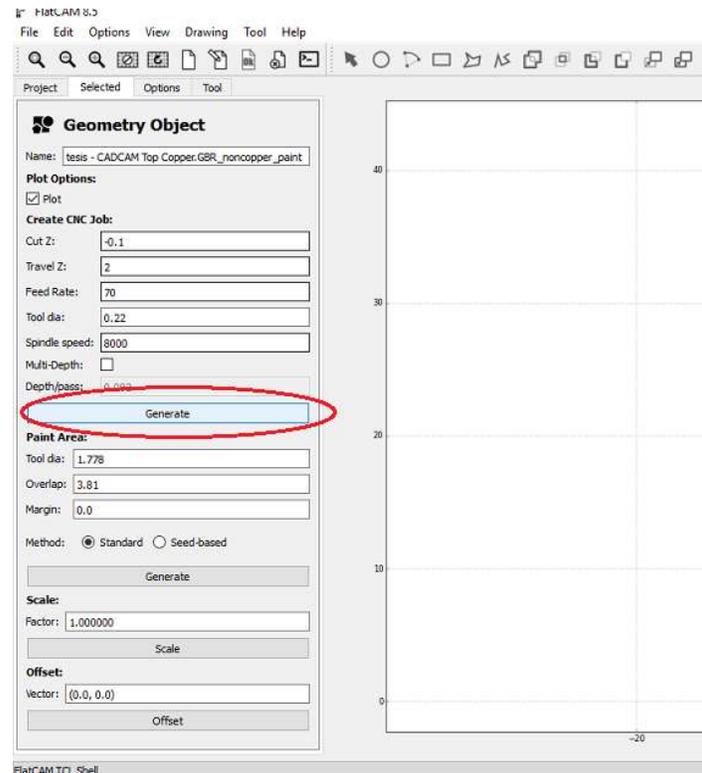


Figura 20: General el código G.

10.- Como generar el código G mediante el software.

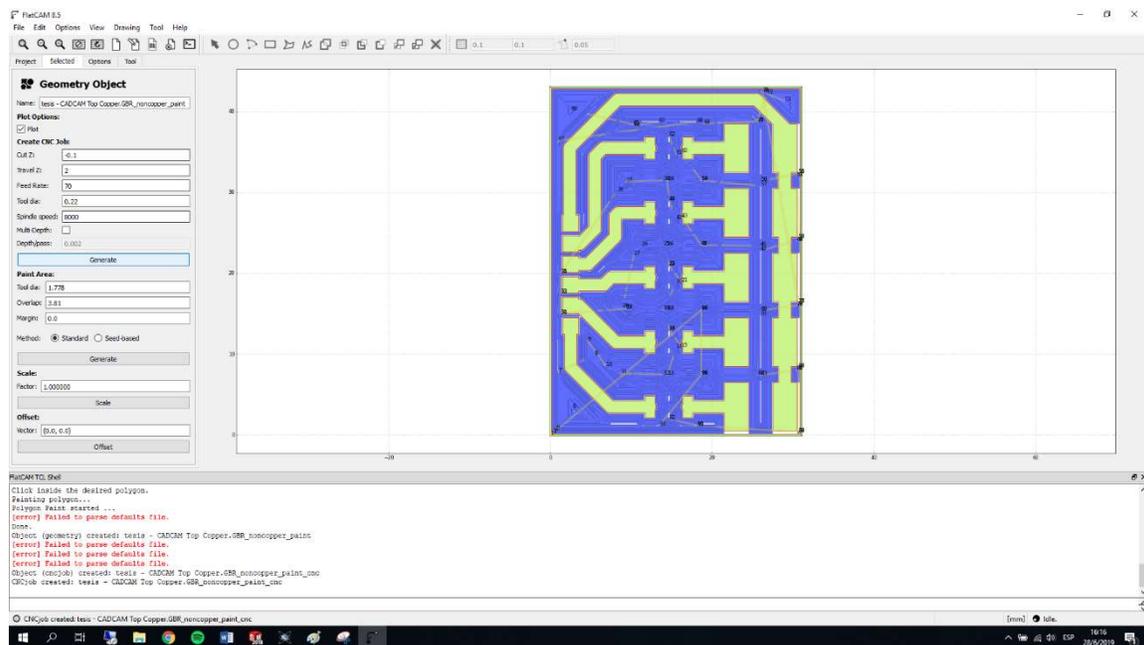


Figura 21: Pantalla para generar el código G.

11.- Proceso para guardar el archivo de código G para el software bCNC.

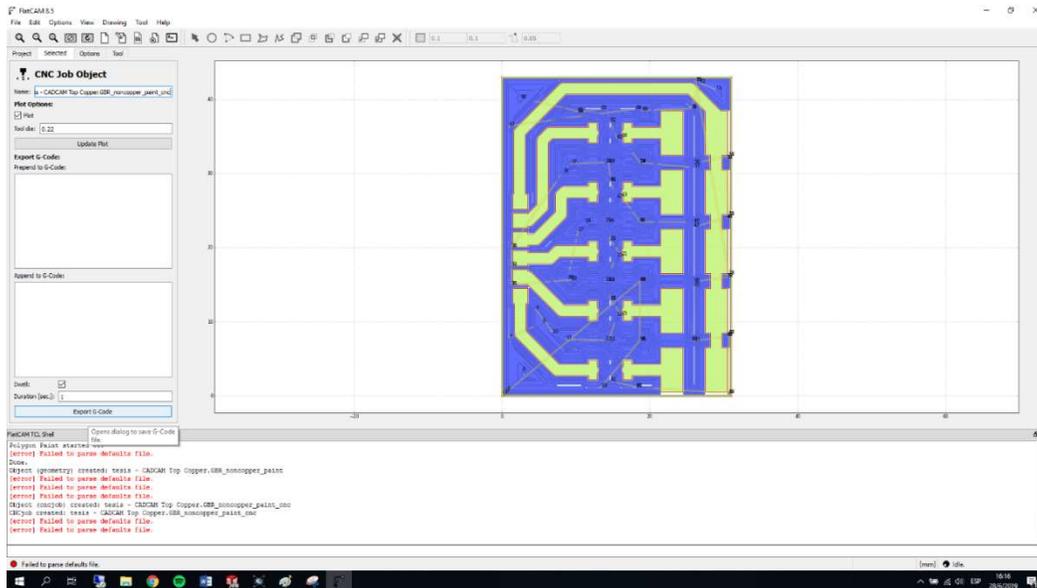


Figura 22: Primer paso para guardar el código G.

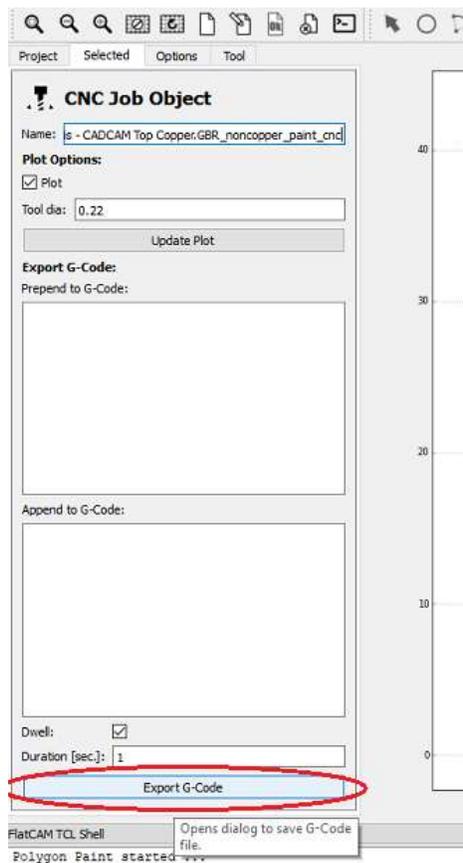


Figura 23: Hacer clic en el icono indicado.

12.- Poner el nombre con él se va a guardar el código G y con la extensión NGC.

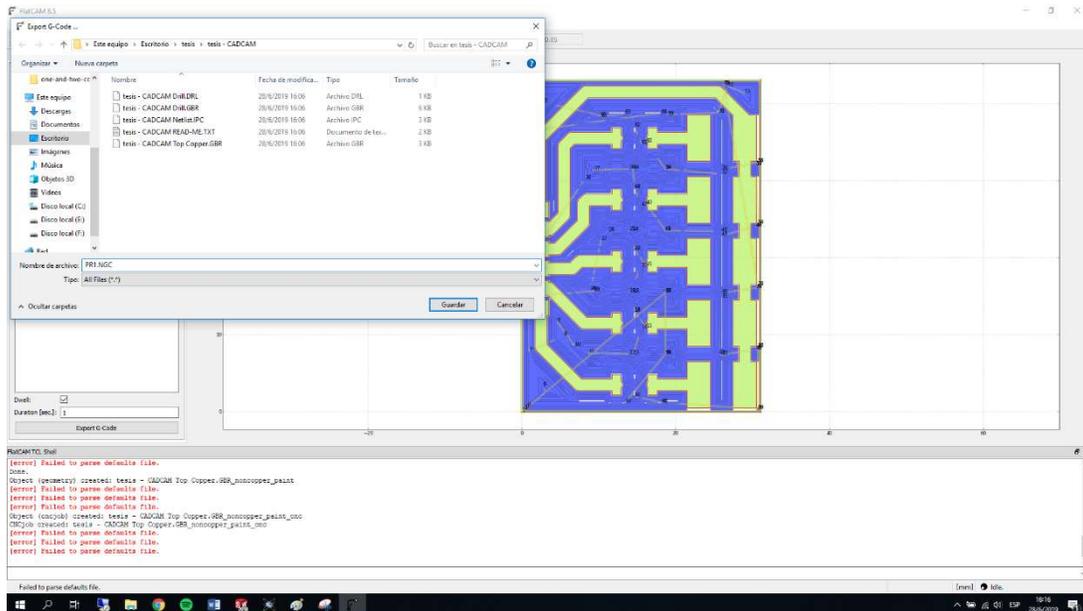


Figura 24: nombre y extensión del código G a guardar.

4.2.3. PROGRAMACIÓN DEL CÓDIGO G MANUALMENTE.

El código G se lo puede realizar en un documento de notas, el cual permite modificar de acuerdo a las posiciones que se localiza el componente o el punto de pasta, estos puntos de código se los realiza mediante mediciones las cuales se las puede determinar a partir del primero punto de pasta de soldar o componente más información en el *punto 3.2.6*.

En la *figura 25* se puede observar un ejemplo de código G en un documento de notas.

```

pasta: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
g00 z10
g00 X5y7
g00 z0
m8
g4 p2
m9

g00 z10
g00 X5y9
g00 z0
m8
g4 p2
m9

g00 z10
g00 X5y15
g00 z0
m8
g4 p2
m9

g00 z10
g00 X5y17
g00 z0

```

Figura 25: Ejemplo del código G.

4.2.4. PASOS A REALIZAR EN EL PROGRAMA bCNC.

1.- Abrir el programa bCNC.

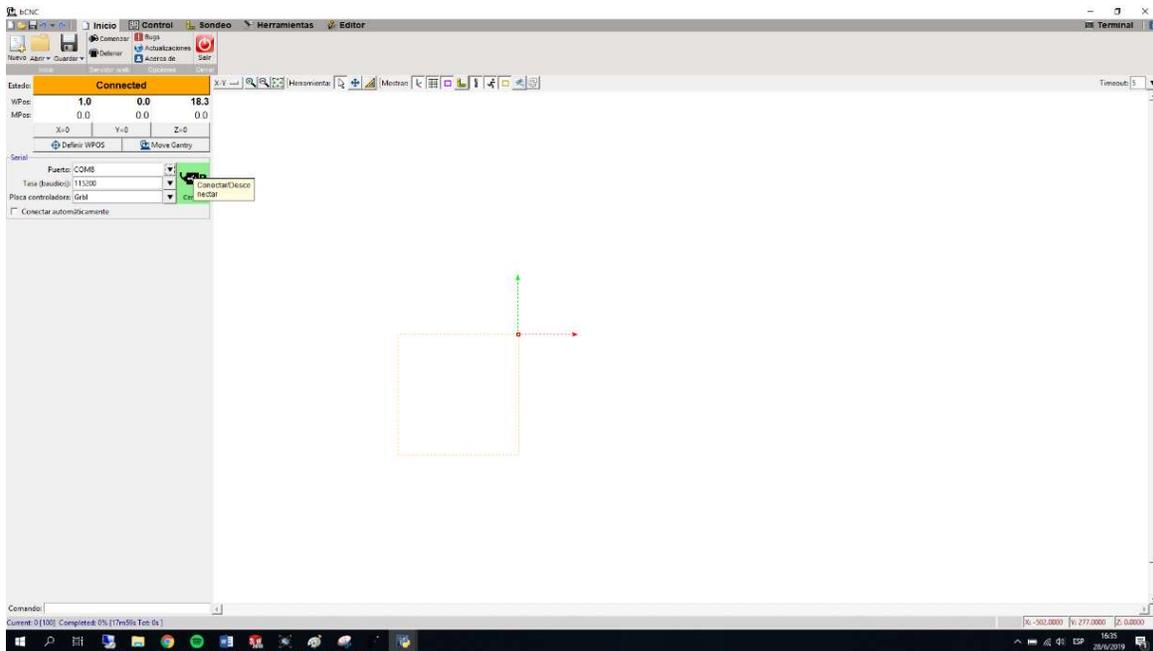


Figura 26: Pantalla del software bCNC.

2.- Conectar el software bCNC haciendo clic en el icono indicado.

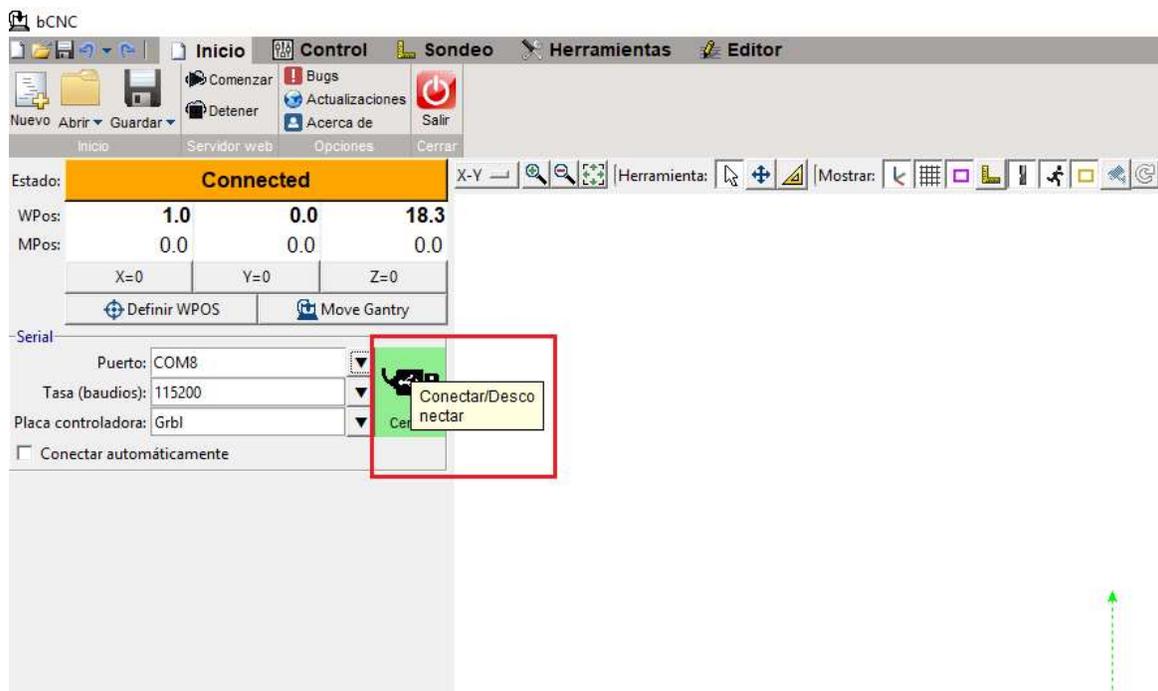


Figura 27: Icono de conexión del programa a la máquina.

3.- Abrir el icono de control donde tenemos la siguiente pantalla.

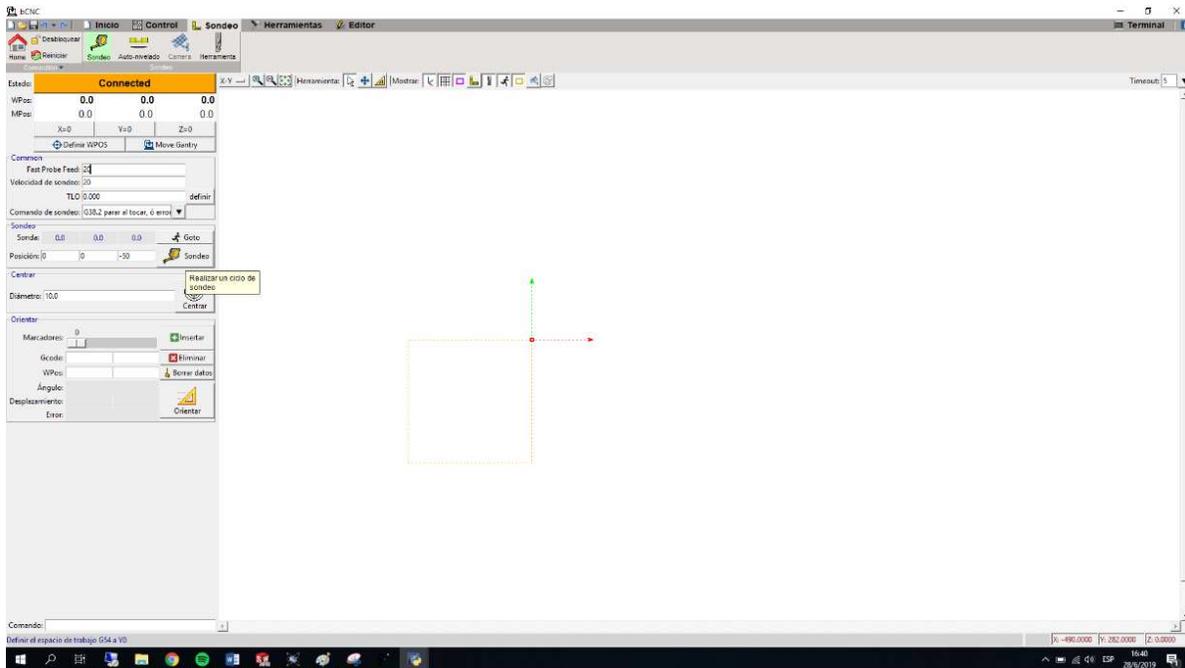


Figura 28: Pantalla para ubicar el punto cero en el eje Z.

4.- Posicionamiento del punto cero en el eje Z, para lo cual se selecciona el icono indicado en la figura 29.

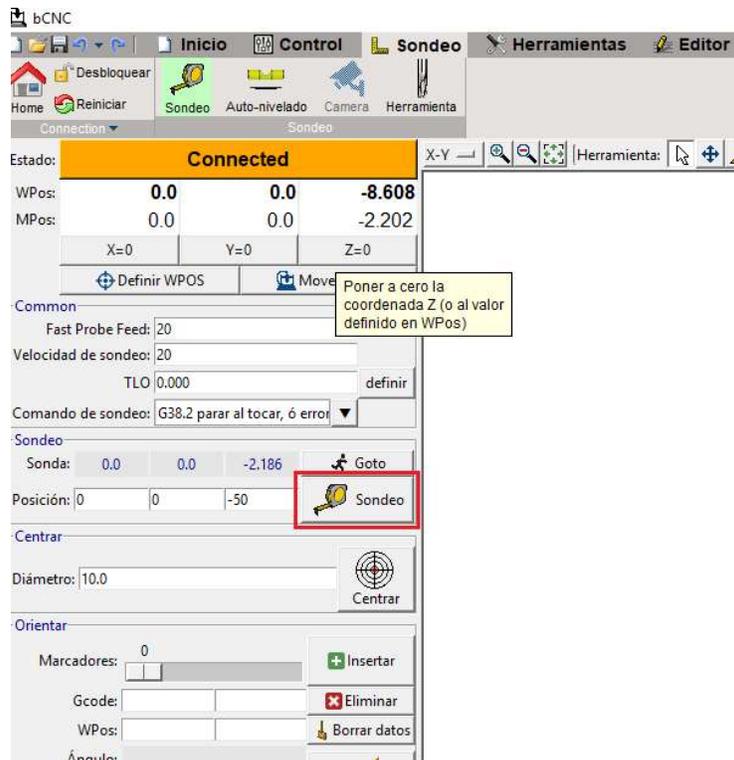


Figura 29: Posición del eje Z.

5.- Pantalla de inicio donde vamos a cargar el programa del código G.

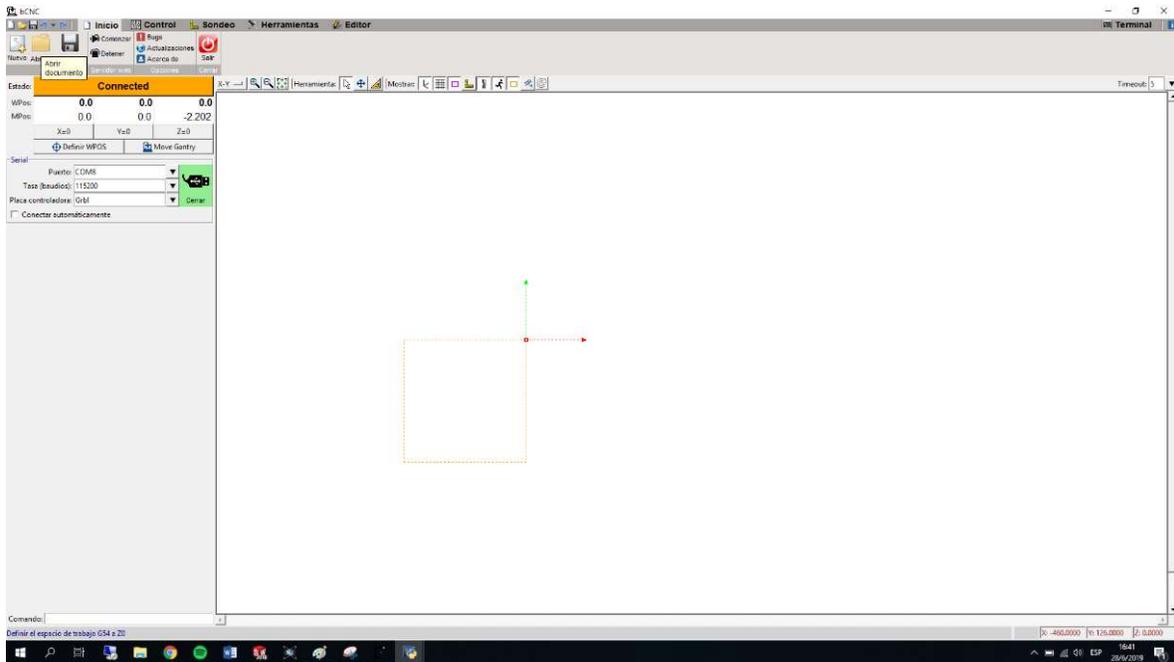


Figura 30: Pantalla de inicio.

6.- Ubicación del icono donde están archivados los programas de código G.

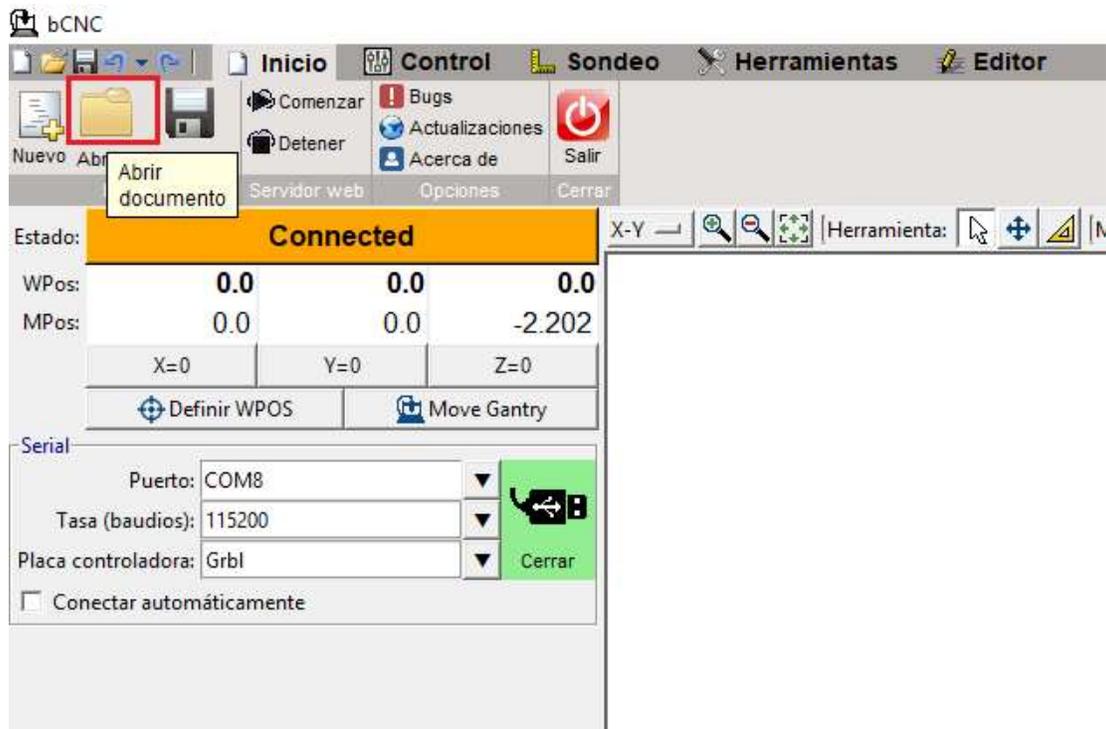


Figura 31: Pantalla de inicio para abrir el programa de código G a ser ejecutado.

7.- Selección del programa con el código G a ser cargado como se muestra en la *figura 32*

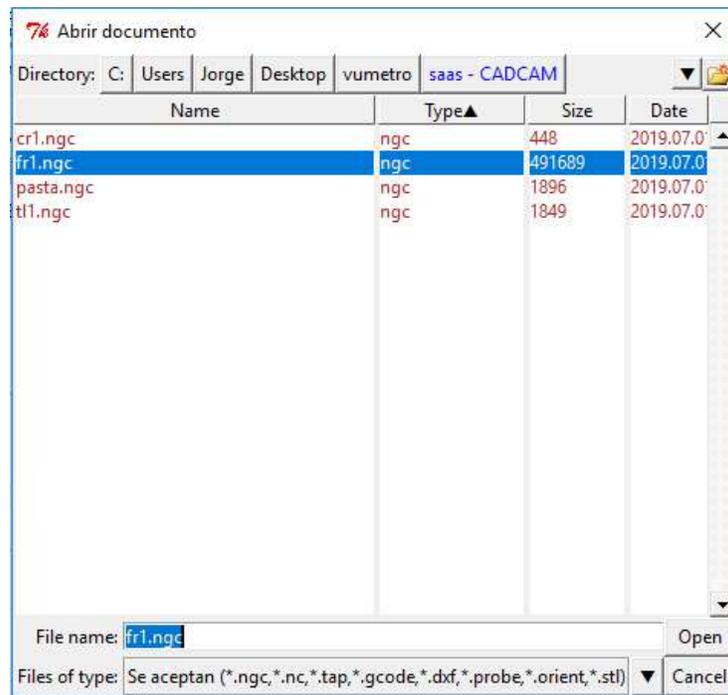


Figura 32: Pantalla donde se selecciona el código G a ser aplicado: Ruteado, Taladrado, Puesta de la pasta de soldar y colocación de componentes.

8.- Pantalla donde se observa la imagen preliminar del circuito a realizar.

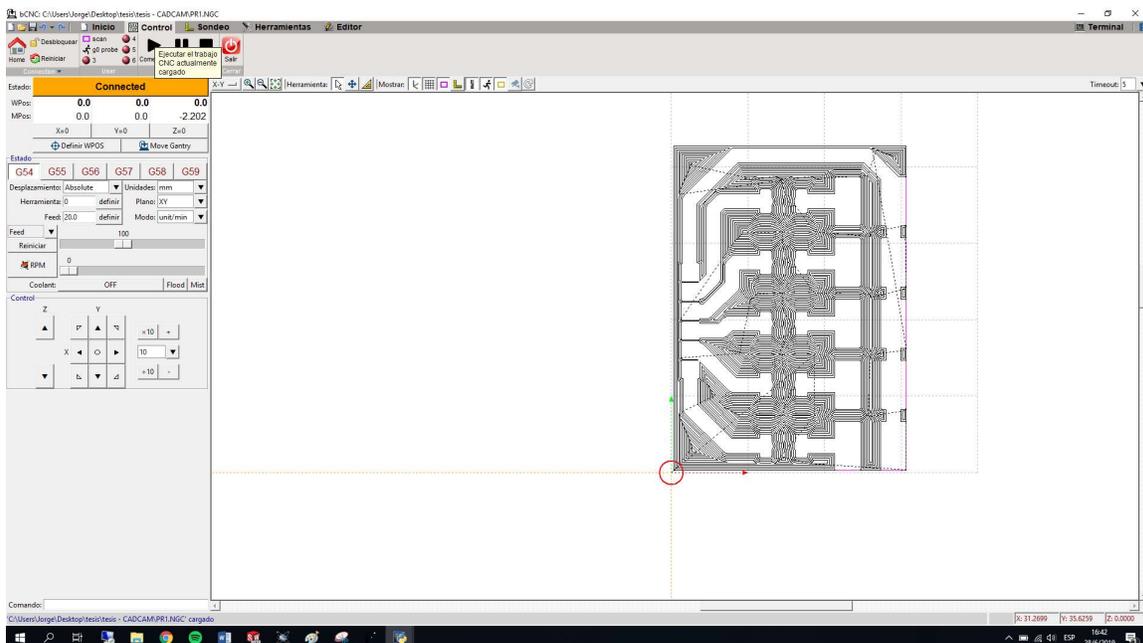


Figura 33: Vista preliminar del circuito a mecanizar.

9.- Ejecución del programa haciendo clic en el icono de inicio.

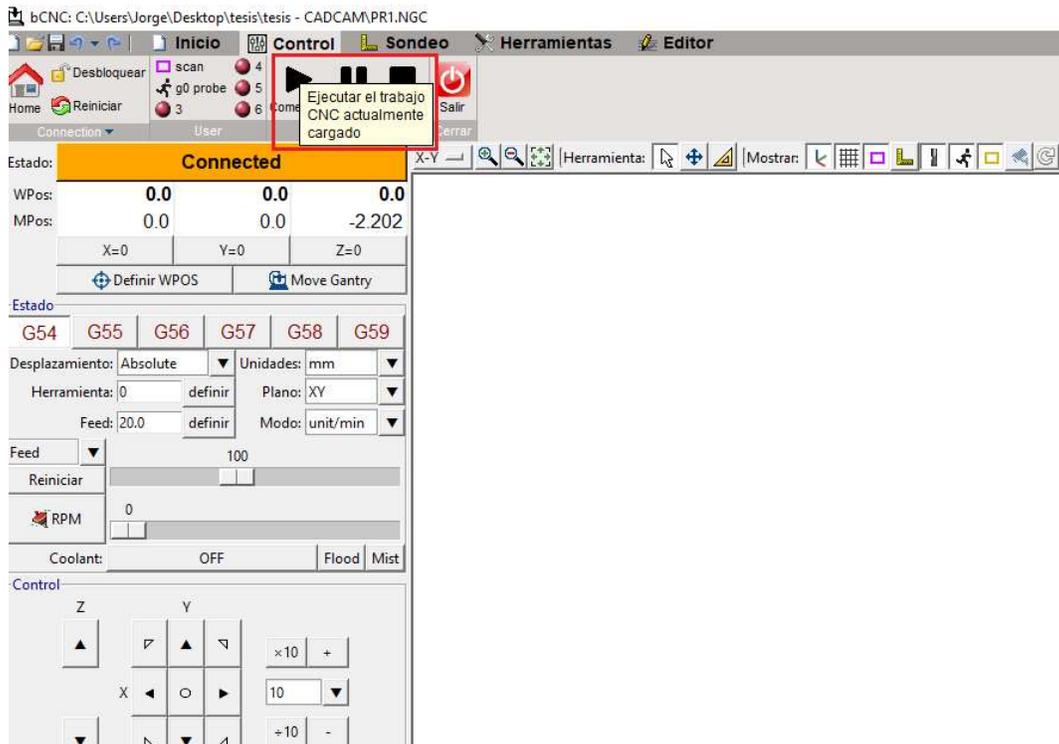


Figura 34: Ejecución del programa.

10.- Vista del programa ejecutado.

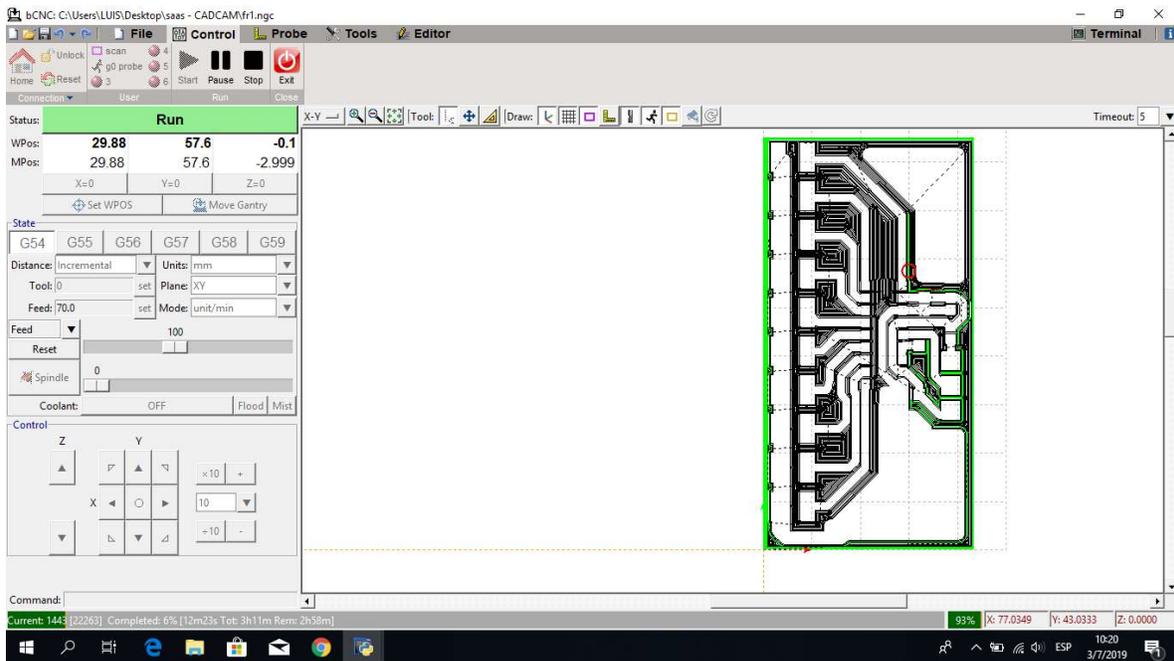


Figura 35: Ejecución del programa realizando el desbaste.

4.2.5. CALIBRACIÓN DEL DISPENSADOR DE PASTA

Para realizar la calibración de la colocación de puntos de pasta de soldar se debe hacer los siguientes pasos.

Realizar la calibración de la dispensación de la pasta mediante el programa del controlador (Arduino Nano), el código lo puede observar en la *figura 36*, en donde se indica cual es la variable a modificar y en la *tabla 1*, está el número de pasos a colocar según el tiempo que se tiene la pasta ya que solo tiene 6 meses de vida útil.

Tabla 1: Número de pasos a colocar según el tiempo en meses.

Calibración del código del arduino según el tiempo de vida útil de la pasta de soldar	
Tiempo (meses)	Número de pasos en el código
3	45-50
4	50-55
5	55-65
6	65-75

CÓDIGO DEL ARDUINO

```

1
int res=10;
int actual=0;
int anterior=0;

void setup()
{
  pinMode(3,OUTPUT);
  pinMode(4,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);

  pinMode(10,INPUT);
  pinMode(11,INPUT);

  Serial.begin(115200);

  digitalWrite(3,LOW);
  digitalWrite(4,HIGH);
  digitalWrite(5,LOW);
  digitalWrite(6,HIGH);
}

```

```

void loop()
{
  actual=digitalRead(10);
  if (actual!=anterior)
  {
    if ((digitalRead(10)==HIGH) && (digitalRead(11)==HIGH))
    {
      digitalWrite(6,HIGH);
      bomba();
    }
    else if ((digitalRead(10)==HIGH) && (digitalRead(11)==LOW))
    {
      digitalWrite(3,LOW);
      digitalWrite(6,LOW);
      pasta(75);
    }
    else
    {
      digitalWrite(3,LOW);
      digitalWrite(6,HIGH);
    }
    anterior=actual;
  }
}

void bomba()
{
  digitalWrite(3,HIGH);
}

void pasta(int pasos)
{
  for(int i=0;i<=pasos;i++)
  {
    digitalWrite(5,HIGH);
    delay(res);
    digitalWrite(5,LOW);
    delay(res);
  }
}

```

Figura 36: Código del control del motor y la bomba de vacío.

4.2.6. CALIBRACIÓN DEL PUNTO CERO PARA LA COLOCACIÓN DE COMPONENTES.

Para el seteo del punto cero se recomienda tomar la posición en el primer cuadro de la bandeja donde se encuentran colocados los componentes, ya que de esta posición se puede determinar las posiciones de los siguientes componentes solo poniendo un recorrido de 10mm en el eje X, dando una facilidad al momento de realizar el código G.

- 1) Primero se toma el punto inicial del primer componente.
- 2) Una vez tomado ese componente se procede a ubicar el cero pieza moviendo de forma manual con los controles del bCNC.
- 3) Cuando se ubica el cero pieza se procede a reiniciar los puntos cero.

- 4) Una vez reiniciado el punto cero se toma la sonda y se ubica en la punta de la herramienta y la otra punta en la baquelita de forma que cuando la punta toque a la pieza cierre el circuito y así se obtiene el punto cero en el eje Z.
- 5) Tomado el punto cero se reinicia nuevamente los 3 ejes de coordenadas para que la máquina quede saeteada.
- 6) La máquina esta lista para operar.
- 7) Tomar en cuenta en el código G las alturas de los componentes más la del punto de pasta.

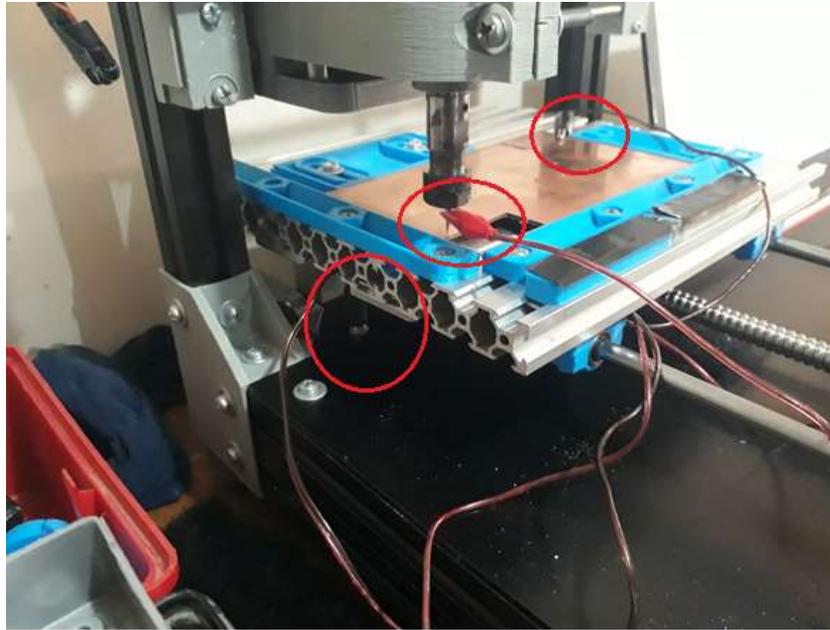


Figura 37: Calibración del cero pieza y seteo.

4.3.6. INTERCAMBIO DE LOS CABEZALES.

Para el cambio de cabezales se debe realizar mediante el uso de un desarmador estrella y una llave número 11 la cual permite aflojar el cabezal y colocar otro, los cabezales son los siguientes que se indica en las *figuras 38, 39 y 40.*



Figura 38: Cabezal de ruteado y taladrado.



Figura 39: Cabezal de dispensación de pasta.



Figura 40: Cabezal de la puesta de componentes.

4. MANUAL DE MANTENIMIENTO

a. GENERAL

La mayor parte del mantenimiento general a realizar por los usuarios de la máquina se refiere a una limpieza básica, engrase y unas rutinas de trabajo con la finalidad de establecer unos hábitos generales para el buen funcionamiento de la CNC.

El usuario de la máquina CNC es la persona que comprenda y observe anomalías o cambios en el funcionamiento, siendo de ayuda inestimable para describir los fallos.

El mantenimiento general se traduce en:

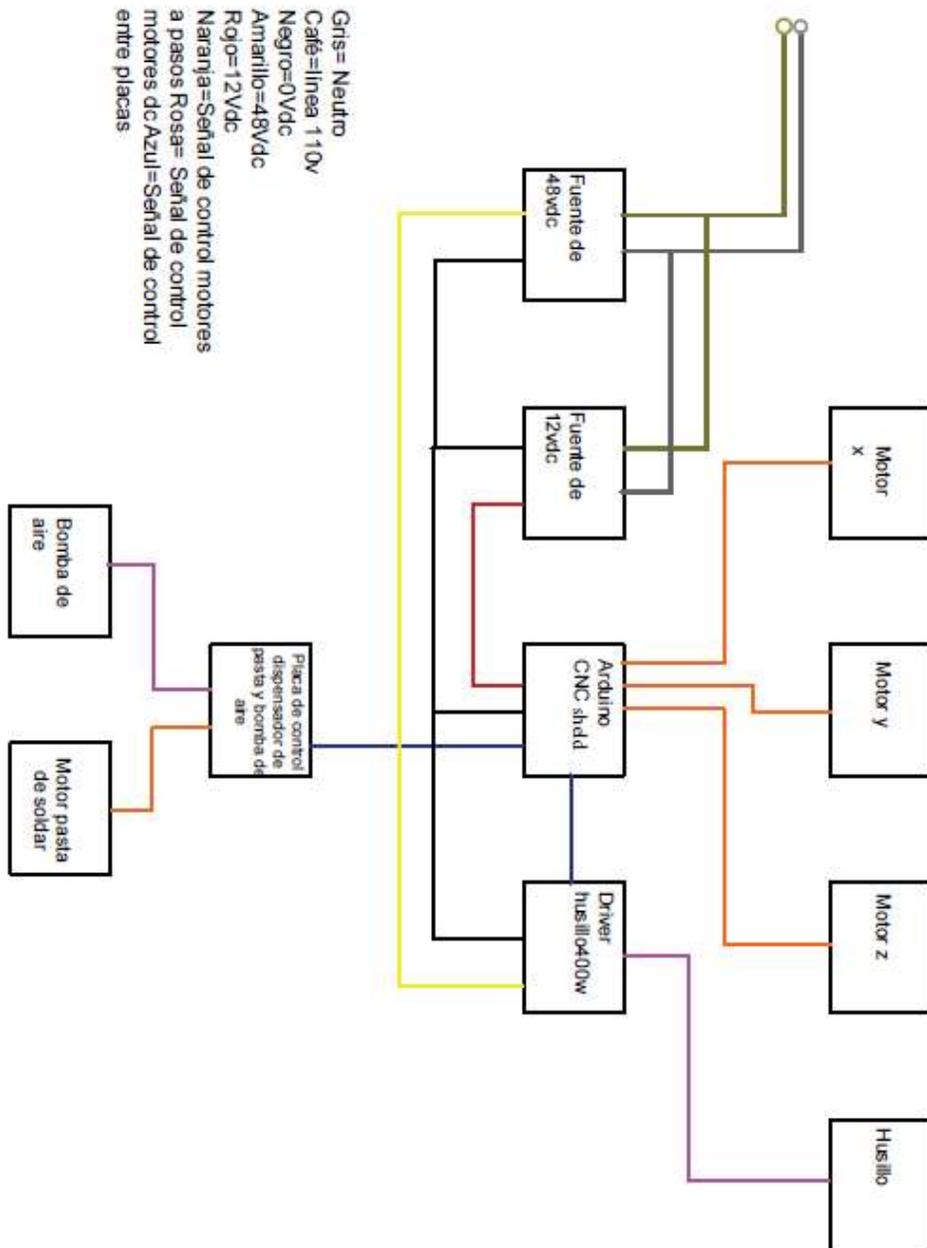
- a) Mantener la máquina limpia.
- b) Mantener los rodamientos de los ejes engrasados y limpiar la viruta que genera al elaborar las placas.
- c) Comprobar visualmente que los conectores de comunicación estén en buen estado, no presentes golpes o cortes u otro daño.

Elementos	Revisión	Detalle	Observaciones
Ejes	Semanal	8mm AISI 304	Aceitar con aceite multiusos.
Rodamientos	Semestral	610z	Reemplazo.
Rodamientos lineales	Semestral	LMU8UU	Verificar que no exista ruido, ni rozamiento.
Tornillos de bolas	Semestral	SFV1208-10	Realizar el engrasado con grasa liviana.
Rodamiento	Semestral	685zz	Reemplazo.
Engranés	Anual	Engranés dispensador de pasta.	Verificar integridad de dientes.
Piezas de sujeción de ejes de los sistemas móviles.	Anual	Piezas varias impresión 3D.	Verificar integridad, reemplazar en el caso de ser necesario (Planos de taller).

5. DIAGRAMA DE CONEXIÓN

A continuación, se presenta el esquema de distribución general de las conexiones eléctricas de la máquina CNC de placas electrónicas.

a. ALIMENTACIÓN 110V



6. SEGURIDADES

6.1. PRECAUCIONES GENERALES DE SEGURIDAD

Las presentes precauciones de seguridad para la máquina CNC de placas electrónicas han sido preparadas para ayudar al operador y a la persona que se encarga del mantenimiento a la puesta en práctica del procedimiento de seguridad de trabajo. Las personas encargadas del mantenimiento deben comprender dichas precauciones antes de la puesta en marcha o mantenimiento de la máquina.

Estas precauciones deben ser utilizadas como complemento a las precauciones de seguridad y visión de atención en la máquina.

- a) Reglamentos y códigos locales, de fábrica y de sección.
- b) Leyes y reglamentos nacionales.

6.1.1 SEGURIDAD PERSONAL

La prevención de accidentes debe ser uno de los principales objetivos del trabajo independientemente de la actividad en cuestión. El encargado debe asegurarse que la persona que realiza el mantenimiento comprenda totalmente y cumpla con las siguientes precauciones cuando esté operando los componentes de la máquina por separado.

No debe usarse pañuelos, corbatas, relojes, etc. en las proximidades de los elementos en funcionamiento.

6.1.2 SEGURIDADES EN LA ZONA DE TRABAJO

Mantener siempre limpia la zona de trabajo, ya que se puede generar pérdida de material o daños de algún componente de la máquina.

6.1.3 SEGURIDAD EN EL MANTENIMIENTO

Asignar sólo personal de mantenimiento calificado para realizar las operaciones de mantenimiento y reparación de la máquina. Antes de realizar el mantenimiento despejar una zona con información que se está ejecutando mantenimiento.