



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN.**

Título:

Construcción de un controlador numérico computarizado portátil y plegable, para la elaboración de prototipos de PCB en la Universidad Nacional de Ingeniería.

Elaborado por:

Julio Wilfredo Peña Reyes 2017-0645U.

Javier Antonio Ruiz Murillo 2017-1304U.

Tutor:

MSc.Ing. Cedrick Elksnherr Dalla-Torre Parrales.

Managua, Nicaragua 13 de enero de 2023.

Resumen.

Con el propósito de facilitar la elaboración de placas de circuito impreso de buena calidad y a la vez poder brindar una mayor comodidad a la hora de transportar un CNCP (Controlador Numérico Computarizado Plegable), nos propusimos ejecutar este proyecto. Para poder cumplir con nuestros objetivos, planteamos una metodología de diseño, la cual hace bastante hincapié en el diseño industrial.

Esta metodología presenta varias etapas, desde la generación de ideas, pasando por la selección de alternativas, desarrollo de la idea seleccionada, hasta los ensayos de los prototipos. Cada uno de estos aspectos son parte de nuestro proyecto.

El CNCP, está diseñado para facilitar la elaboración de placas de circuito impreso, con una mayor calidad, facilidad en la transportación y reducción de espacios a la hora de su movilización y uso.

Con el propósito de mejorar la transportación de la CNC, se diseñó un prototipo enfocado en tres aspectos importantes.

Se redujo el peso del CNC, aplicando diferentes tipos de materiales y estructuras, para poder generar el diseño requerido, lo que permitió que se haya desarrollado un diseño relativamente liviano.

Para mejorar el manejo y transporte, este CNCP posee una estructura plegable, esta posee un sistema de ajuste que permite que la estructura del eje Z se pueda plegar hacia adelante, permitiendo así reducir significativamente el tamaño de este. Además, para que los materiales usados en la base de soporte de las placas de circuito impreso no se vieran afectados a la hora de perforar las placas, se desarrolló un sistema ajustable, que permite no solo evitar que se perfora la base, si no también que permita colocar placas de diferentes tamaños.

Con respecto a la calidad de las placas de circuito impreso, el CNCP permite en si generar un ruteo con precisión y rapidez. Lo que genera placas de circuito impreso terminadas en muy poco tiempo.

La configuración de CNCP, esta implementada con GRBL, que es el intérprete de código G, usado ampliamente en la configuración de los CNC.

Por otro parte, el sistema electrónico está diseñado con Arduino, este no solo es relativamente fácil de manejar, sino que también posee un costo bastante accesible comparado con los demás microcontroladores.

Los ejes están manejados con motores, paso a paso, lo que permite la precisión de cada uno de los ejes.

Índice

1. Introducción.	10
2. Objetivos.	11
2.1 Objetivos generales:	11
2.2 Objetivos específicos:	11
3. Justificación.	12
4. Marco teórico.	13
4.1 Tipos de estructuras.	14
4.2 Tipos de materiales.	14
4.3 Motores.	15
4.4 Controladores.	15
4.5 Placas de PCB.	16
4.6 Código G.	16
4.7 Componentes de protección.	16
4.8 Controlador de motor de micropasos A4988.	17
5. Desarrollo.	18
5.1 Diseño conceptual de la estructura del CNC.	18
5.1.1 Desmontable.	18
5.1.2 Plegable.	19
5.1.3 Desmontable y plegable.	20
5.2 Generación de alternativas para ponderación de las estructuras.	21
5.2.1 Dentro de los parámetros a considerar están.	21
5.3 Construcción de la estructura de la alternativa seleccionada.	22
5.4 Generación de planos.	22
5.4.1 Proceso de Construcción.	34

5.4.1.1	Construcción de estructura.....	34
5.4.2	Conexión del protector.....	37
5.4.2.1	características eléctricas.....	38
5.4.3	Funcionamiento y configuración de los drivers.....	39
5.4.3.1	Funcionamiento.....	40
5.4.3.2	Configuración.....	40
5.4.4	Motores.....	41
5.4.4.1	Motor DC 12-24V.....	41
5.4.4.2	Motores paso a paso.....	42
5.4.4.2.1	Funcionamiento.....	42
5.5	Instalación del sistema electrónico.....	44
5.5.1	Características eléctricas de Arduino.....	44
5.5.2	Instalación de driver.....	44
5.5.3	Instalación del sistema electrónico.....	50
5.6	Diagrama electrónico del circuito.....	51
5.7	Imágenes reales de CNCP terminado.....	52
5.8	Configuración de Microcontrolador.....	54
5.8.1	Preparación configuración del microcontrolador Arduino uno R3.....	54
5.9	Generación de archivos de corte.....	60
5.9.1	Generando archivo ngc.....	60
5.9.2	Funcionamiento de Candel.....	65
5.10	Presupuesto.....	68
6.	Conclusiones.....	69
7.	Recomendaciones del proyecto.....	70
8.	Referencias.....	71

Índice de Figuras.

Figura 1:	Diagrama de bloque de un CNC.	13
Figura 2:	Estructura modular montada.	18
Figura 3:	Estructura modula desmontable desarmada y apilada.....	19
Figura 4:	Estructura modular montada.	19
Figura 5:	Estructura modular plegada.	20
Figura 6:	Estructura modular plegable desmontable expandida.....	20
Figura 7:	Estructura modular plegable y apilada.....	21
Figura 8:	Plano de vista frontal.	23
Figura 9:	Plano de vista planta.....	24
Figura 10:	Plano de vista izquierda.....	25
Figura 11:	Plano de vista derecha.....	26
Figura 12:	Plano de vista inferior.....	27
Figura 13:	Plano de vista anterior.	28
Figura 14:	Plano de vista explosiva.....	29
Figura 15:	Plano de vista de corte de planta.....	30
Figura 16:	Plano de vista de vista de corte derecha.	31
Figura 17:	Plano de vista de isométrica.	32
Figura 18:	Enumeración de piezas.	33
Figura 19:	Construcción de base de la estructura.....	34
Figura 20:	Construcción de piezas, para giro de los ejes x e y.....	35
Figura 21:	Construcción de piezas para unión de ejes.	35

Figura 22:	Soporte del motor de corte.	36
Figura 23:	Arduino CNC Shield V3.00.	37
Figura 24:	Motor DC.	41
Figura 25:	Diagrama de pasos de un motor paso a paso.	43
Figura 26:	Diagrama de conexión del driver A4988.	45
Figura 27:	Diagrama de conexión eléctrica.	46
Figura 28:	Diagrama de regulador de voltaje DC.	47
Figura 29:	Circuito electrónico de regulador de voltaje 2D.	48
Figura 30:	Circuito electrónico de regulador de voltaje 3D.	48
Figura 31:	Circuito electrónico real.	49
Figura 32:	Diagrama de conexión del sistema electrónico.	50
Figura 33:	Diagrama del sistema de conexión de Arduino, drivers y motores paso a paso.	51
Figura 34:	Imagen de estructura de CNCP terminado.	52
Figura 35:	CNC con motor desmontado.	52
Figura 36:	CNCP plegado.	53
Figura 37:	Vista de CNCP plegado caja de electrónicos.	53
Figura 38:	Placa de circuito impreso, ruteado y perforado en CNCP.	54
Figura 39:	Descargar librería GRBL.	55
Figura 40:	Buscar librería GRBL en el directorio.	55
Figura 41:	Abrir librería GRBL para su carga.	56
Figura 42:	Abrir librería GRBL para su carga.	56
Figura 43:	Configuración de los parámetros de ruteo.	57

Figura 44:	Configuración de los parámetros de ruteo.	58
Figura 45:	Configuración de los parámetros de ruteo.	58
Figura 46:	Carga del archivo Gerber.	60
Figura 47:	Carga del archivo Gerber.	61
Figura 48:	Vista de las pistas a rutear.....	61
Figura 49:	Ubicación en las coordenadas (0,0).....	62
Figura 50:	Pistas con el ancho de corte, cantidad de pasadas.....	63
Figura 51:	Generación de la geometría de las pistas.	64
Figura 52:	Exportar el archivo G-CODE, listo para cortar.	65
Figura 53:	Configuración de puerto y baudios.	66
Figura 54:	Parámetros y direccionales de ubicación de corte.....	67
Figura 55:	Abrir, reiniciar, enviar.....	67
Figura 56:	Elaboración de diseño de estructura y planos.	74
Figura 57:	Elaboración de circuitos y diagramas electrónicos.....	74
Figura 58:	Elaboración de informe.....	74
Figura 59:	Creación de código G.	74
Figura 60:	Software de Corte y ejecución de CNC.....	74
Figura 61:	Construccion de union de ejes.....	75
Figura 62:	Construccion de soportes de base de eje Z.....	75
Figura 63:	Corte de Lamina de aluminio para elaboracion de piezas.	75
Figura 64:	Pintado de piezas.	75
Figura 65:	Secado de piezas.....	75
Figura 66:	Perforacion de agujeros en piezas.	75

Figura 67:	Armado de base en el eje X.....	75
Figura 68:	Perforacion de agujeros en piezas.	75
Figura 69:	Fijado de ejes de acoples metalicos.	76
Figura 70:	Corte de piezas de fijacion de eje X y Z.....	76
Figura 71:	Armado de caja para arduino.	76
Figura 72:	Fijado de soporte de motor.....	76
Figura 73:	Fijacion de circuito regulador de voltaje para motor DC.	76
Figura 74:	Fijado de piea de soporte de motor de paso en el eje Z.....	76
Figura 75:	Pintado de piezas del CNCP.....	77

Índice de tablas.

Tabla 1.	Ponderación de las características para la estructura del CNC.	22
Tabla 2.	Especificaciones eléctricas del driver A4988.	39
Tabla 3.	Resolución de los de los micro pasos de los motores paso a paso.	41
Tabla 4.	Especificaciones eléctricas de motor de paso a paso.	42
Tabla 5.	Características eléctricas de Arduino uno R3.	44
Tabla 6.	Presupuesto.	68

1. Introducción.

Actualmente, los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua (UNI), no cuentan con un sistema que les facilite la elaboración de prototipos de placas de circuito impreso, para la elaboración de sus proyectos de curso; además, que sea económico, fácil de transportar, con excelentes resultados y con corto tiempo de elaboración.

Con el diseño e implementación de este proyecto, se pretende brindar a todos los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica y electrónica de la UNI, una mejor alternativa; que les permita realizar los prototipos de sus placas de circuito impreso, con mayor rapidez; más económico y en menor tiempo; pero, además, brindarles la posibilidad de poder transportar el CNC a cualquier otro lugar, sin ningún impedimento.

Es nuestro propósito, poner en manos de cada estudiante; uno de estos equipos y que pueda formar parte de sus herramientas diarias de diseño y desarrollo. Para poder concretar cada uno de nuestros procesos de diseño e implementación, se llevará a cabo un proceso basado en el desarrollo de diseños industriales, los cuales se seguirá paso a paso para su respectiva aplicación.

En el capítulo concerniente al marco teórico y conceptual, se abordarán cada uno de los diferentes sistemas que conformarán el CNC; tales como: Estructura, materiales, componentes, sistemas electrónicos entre otros.

El capítulo referente al desarrollo del proyecto, se aborda lo relacionado al proceso de diseño e implementación; lo que comprende desde la conceptualización, generación de alternativas, pasando por la ponderación de alternativas; desarrollo de los sistemas electrónicos, hasta su respectivo armado y pruebas de funcionamiento.

2. Objetivos.

2.1 Objetivos generales:

- ✓ Implementar un controlador numérico computarizado portátil y plegable que facilite la elaboración de prototipos de placas de circuitos impresos, con mayor rapidez y calidad.

2.2 Objetivos específicos:

- ✓ Comprender cada uno de los componentes y elementos, que integran un CNC.
- ✓ Diseñar una estructura que permita facilidad de manejo y transporte del CNC.
- ✓ Elaborar un sistema electrónico con los componentes adecuados para el correcto funcionamiento del CNC.
- ✓ Validar el funcionamiento del CNC, mediante pruebas; con la experimentación de ruteo de circuitos impresos.

3. Justificación.

Actualmente en la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, se han venido desarrollando varios proyectos relacionados al ruteo, mediante el uso de un controlador numérico computarizado; todo esto referenciado en los antecedentes de este protocolo, pero; una de los inconvenientes, es que estas son máquinas robustas, las cuales implica tener que estar en los laboratorios para poder trabajar en ellas, además que sus características están orientadas específicamente al área de ingeniería industrial y mecánica, ósea específicamente para la elaboración de piezas de torno metálicas y madera.

“Actualmente en nuestro país no existe una empresa que se dedique a la fabricación de circuitos impresos” [1]

Solo el hecho de poder elaborar PCB de manera rápida y a bajo costo, lo convierte al CNC en un proyecto útil y necesario. Por otro lado, agregaría mucho más valor; el hecho de poder elaborar un prototipo que se pueda transportar con facilidad y llevar a todas partes.

Sería muy útil que la universidad pudiera asignar a cada sección uno de estos prototipos, por no decir a cada alumno, para desarrollo de sus proyectos. Quizás se podría pensar, ¿para que un CNC portátil?; si existen fijos. Una analogía clara es la que existe entre las computadoras de escritorio, las portátiles y los celulares. Todas ellas realizan prácticamente las mismas funciones; ¿qué es lo que hace que una sea más demandada que la otra?; ¡simplemente su portabilidad!

Lo que se pretende con este proyecto, es que los estudiantes de la facultad de electrónica y computación de la universidad nacional de ingeniería de Nicaragua, puedan contar con un equipo portátil y plegable que permita un fácil transporte y manejo; además que facilite la elaboración de PCB para sus proyectos, ya que los costos de elaboración de PCB por métodos convencionales, **específicamente para prototipo**, resultan muy caros y tardados.

4. Marco teórico.

En la *figura 1*, podemos apreciar cada uno de las diferentes etapas que componen un Controlador Numérico Computarizado. Cada uno de estos aspectos deben de cumplirse en esa misma secuencia, para poder tener un proceso funcional.

En su primera etapa, es necesario contar con las instrucciones deseadas para una determinada tarea. Estas instrucciones son enviadas al microcontrolador para ser ejecutadas, luego cada instrucción es convertida a señales eléctricas digitales que son recibidas por cada uno de los actuadores del dispositivo, a su vez este puede poseer un sistema de lazo cerrado que permitiría al dispositivo tener un control de cada ejecución y así poder disminuir el factor de error.

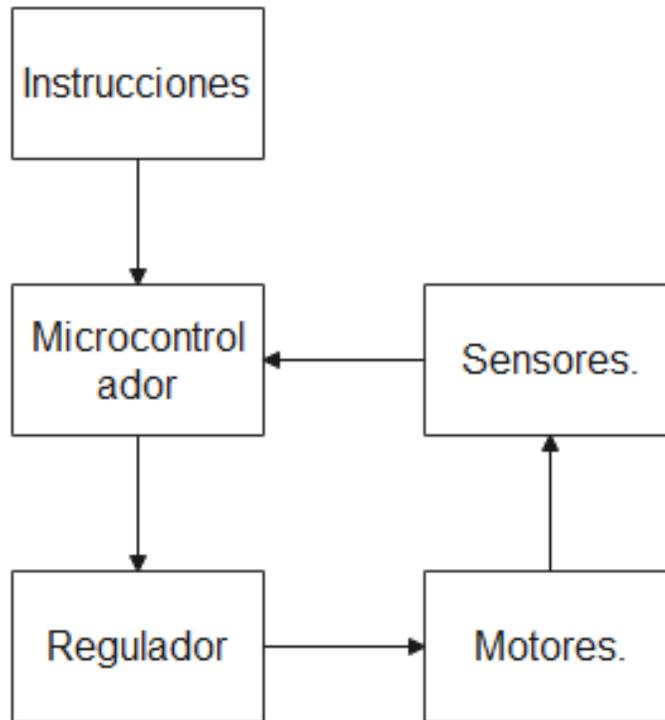


Figura 1: *Diagrama de bloque de un CNC.*

Fuente: <http://departamentofrigorificohesperides.blogspot.com/2016/05/introduccion-la-tecnologia-cnc.html>. [2]. En esta imagen se puede apreciar cada uno de los procesos que componen un Controlador Numérico Computarizado.

4.1 Tipos de estructuras.

Para poder optimizar el uso y procurar una mejor eficiencia; además de poder tener menores costos, es conveniente poder tener una estructura lo más sencilla posible. La construcción de una CNC se vuelve más compleja dependiendo del nivel estructural de ella, es por eso que se evalúan 3 tipos de estructuras debido a su forma: El tipo "A", "El tipo B" y "el tipo C". De las cuales es recomendable analizar la relación costo funcionalidad, ya que la A y la C son más sencillas, pero la B es más estable.

"Para este proyecto se consideraron 3 tipos de estructuras, tipo A, tipo B, tipo C. dentro de estos tres tipos existe el tipo U que se considera abierta, el tipo O que se considera cerrada. De estas tres la B, debido a su eje más largo que las demás". [3]

Está claro que es fundamental la estructura que se escogerá para la elaboración de la CNC, en este caso se recomienda analizar las estructuras, para poder hacer un análisis de costo y funcionalidad; en este caso se recomienda la estructura B, pero aclaro que la A y la C a mi criterio, son más sencillas y menos costosas.

4.2 Tipos de materiales.

Las maquinas CNC comúnmente son usadas para trabajar con diferentes tipos de materiales, uno de los objetivos es poder contar con una estructura que permita cortar piezas de un determinado tamaño, pero sería mucho mejor si permitiera cortar piezas más grandes; lo que daría una excelente versatilidad, por el hecho de que las piezas serian útiles para proyectos más amplios.

"La tecnología ISEL es una maquina multiuso de 3 ejes que puede trabajar en diferentes tipos de materiales, con mayor área útil que las actuales; además es útil para realizar perforaciones y contornos tridimensionales" [4]

Las maquinas CNC son versátiles debido a que puede ser multiuso y expandible (que puede ajustar su tamaño).

4.3 Motores.

Para los proyectos de diseños de CNC, los motores más idóneos son los motores paso a paso; ya que estos poseen una gran precisión y robustez. Los motores paso a paso necesitan cierta cantidad de grados para realizar una vuelta completa de acuerdo a su configuración. Uno de sus inconvenientes es que necesitan de un driver para controlar la etapa lógica.

“Por su precisión facilidad y robustez el motor de paso es el más indicado para este proyecto. Su principal ventaja es que puede realizar movimientos precisos de 1.8° , requiriendo 200 pasos para realizar una vuelta completa” [5]

Los motores paso a paso son los motores más idóneos, para la aplicación en el CNC, pero para su efectivo funcionamiento necesitan de un driver para poder controlar efectivamente su etapa lógica. Estos motores debido a su precisión de acuerdo a su configuración, requieren de cierta cantidad de pulsos para realizar una vuelta completa.

4.4 Controladores.

El microcontrolador de Arduino UNO R3 es una placa que posee múltiples características idóneas para nuestro proyecto. Dentro de estas características podemos encontrar pines digitales y analógicos; de los cuales 6 de ellos se pueden utilizar como salidas PWM. Además posee un reloj que opera a una frecuencia de 16mhz.

“Arduino es un controlador que posee muchas características idóneas para este proyecto, ya posee 14 pines de entradas y salida, PWM , un reloj de 16Mhz; además de ser muy sencillo de utilizar”.
[5].

El CNC es una maquina cuya base principal es el control, por esta razón el microcontrolador Arduino basado en el Atmega 328P es una excelente herramienta para la implementación del control en la maquina CNC. Además que uso es muy sencillo y practico.

4.5 Placas de PCB.

Una placa pcb es un elemento que permite la inserción de componentes, para crear un conjunto de elementos electrónicos, todos con el propósito de controlar o generar energía a un determinado elemento. Para su elaboración, se puede hacer de varios tipos de materiales, además estos pueden ser elaborados en una o varias capas de acuerdo a su complejidad y uso.

“Una PCB es una lámina, en la cual se crean pistas conductoras, con el propósito de colocar diferentes tipos de componentes; la hay de diferentes materiales y tamaños ”. [6]

Una placa de circuito impreso es elaborada para colocar de manera organizada y de la manera más conveniente posible un grupo de elementos electrónicos, las cuales a su vez pueden estar elaboradas de diferentes materiales, dependiendo de su aplicación y uso.

4.6 Código G.

Para poder ejecutar el archivo del código G es necesario poder tenerlo con la extensión correcta. En el caso de programa BODCAD-CAM solo permite formato ASCII para poder ser ejecutado por la CNC. En caso de que el archivo no haya sido creado con el formato correspondiente, este puede ser cambiado en el programa BODCAD-CAM.

“El archivo g necesita ser configurado con la extensión correcta, actualmente se utiliza el archivo de texto ASCII en un 90% de las CNC fabricadas” [7].

El formato permitido para la ejecución de código G es el formato ASCII. Pero en todo caso que no se haya creado con este, el programa BODCAD-CAM tiene la opción de poderlo cambiar al formato ASCII.

4.7 Componentes de protección.

Para poder generar seguridad cuando el movimiento del Husillo llega sus límites, es necesario poder tener un elemento que cumpla tal objetivo, para ello existen los interruptores de limite carrera. Este consiste en un interruptor que al

momento en que la estructura del husillo haga contacto con estos, los interruptores de finales de carrera se activaran y el husillo se detendrá; para evitar que los motores sufran algún tipo de daño.

“El final de carrera son dispositivos de seguridad, que se colocan al final del recorrido de un elemento móvil de ida y vuelta, es usado en diversos sistemas de trayectoria fija.” [8].

Como un elemento de seguridad para los motores de paso, existen los interruptores de límites de carrera, los cuales son colocados en los límites del recorrido del husillo, para evitar que estos sufran algún tipo de daño.

4.8 Controlador de motor de micropasos A4988.

El A4988 es un controlador de motor de micropasos completo con traductor incorporado para una fácil operación. Está diseñado para operar Motores paso a paso bipolares en completo, salida de hasta 35 V y ± 2 A. El A4988 incluye una corriente de tiempo de inactividad fija regulador que tiene la capacidad de operar en Lento o modos de declive mixto.

“El A4988, es un controlador de motor de pasos completo, diseñado para operar motores paso a paso bipolares a diferentes velocidades.” [9].

El microcontrolador A4988, permite que el motor paso a paso trabaje con mayor eficiencia y precisión, además de optimizar los recursos al máximo.

5. Desarrollo.

Es de suma importancia, no solo para el proceso de construcción del CNC, sino también para poder crear una idea clara a mejoras futuras, por otros estudiantes de este proyecto. Es por eso que el proceso que se aplicara durante toda la etapa de desarrollo, se pretende que sea lo más secuencial posible y clara. Detallando cada aspecto, desde su inicio hasta su puesta en marcha de esta máquina.

5.1 Diseño conceptual de la estructura del CNC.

5.1.1 Desmontable.

El propósito de crear una estructura desmontable, es poder ocupar el menor espacio posible a la hora de su transportación. El concepto de la estructura desmontable, es dividir el diseño en la mínima cantidad de partes, para luego poder crear módulos básicos, los cuales se puedan separar y volver a armar.

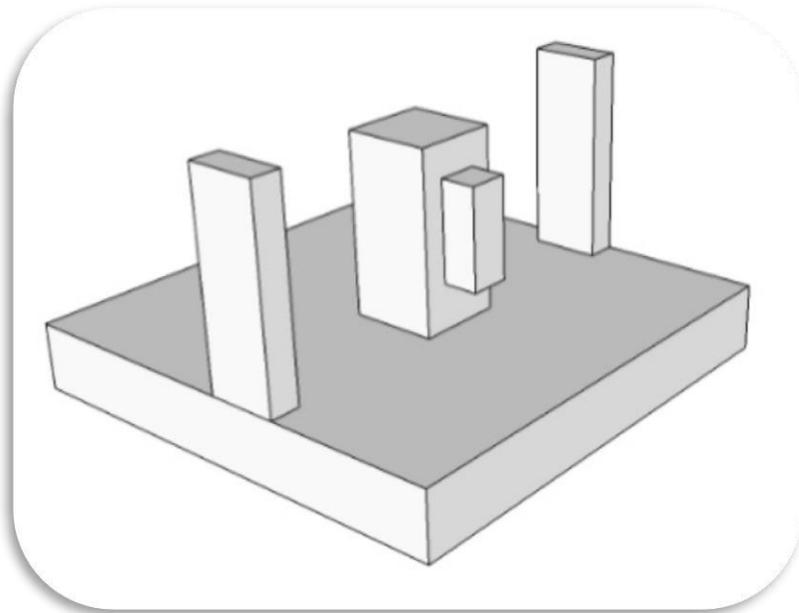


Figura 2: *Estructura modular montada.*

Fuente: *Elaboración propia. Representación de una vista frontal del concepto de la estructura modular. desmontable del CNC.*

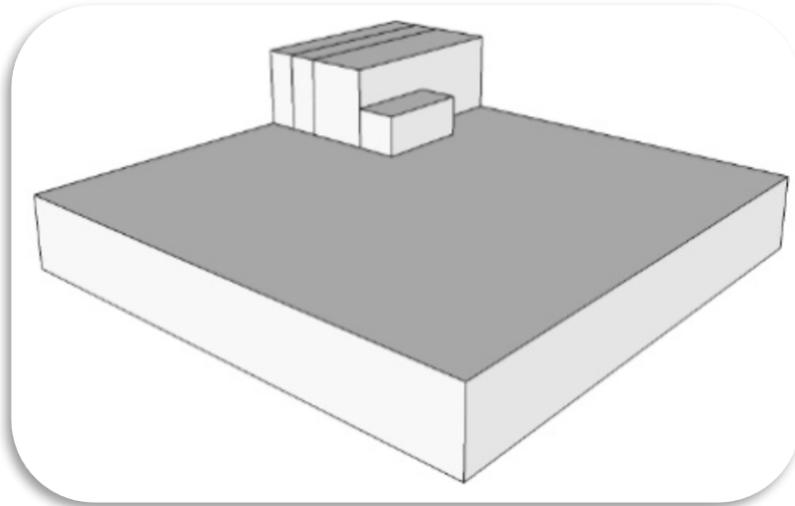


Figura 3: *Estructura modula desmontable desarmada y apilada.*

Fuente: *Elaboración propia. Esta imagen es la representación conceptual de la estructura modular desmontable del CNC, apilada, para su transporte.*

5.1.2 Plegable.

A crear una estructura plegable, cada una de las piezas deberían de tener la capacidad de ajustarse al tamaño deseado o adecuado. Con el propósito de crear un empaquetado lo más pequeño y óptimo posible.

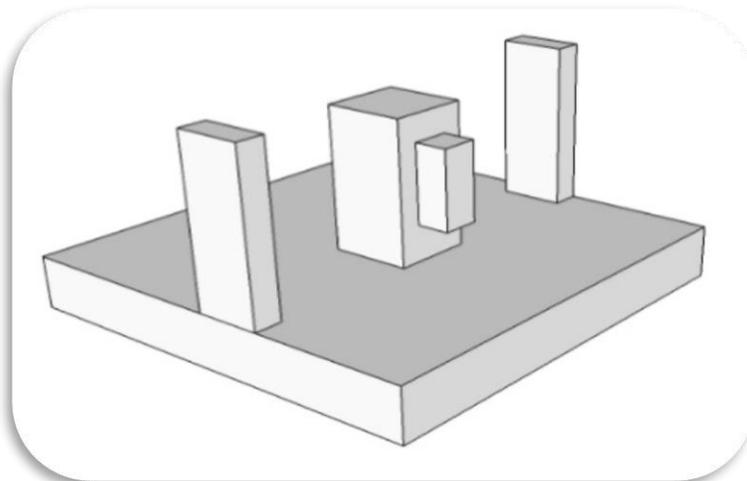


Figura 4: *Estructura modular montada.*

Fuente: *Elaboración propia. Vista frontal de la Representación conceptual de la estructura plegable del CNC.*

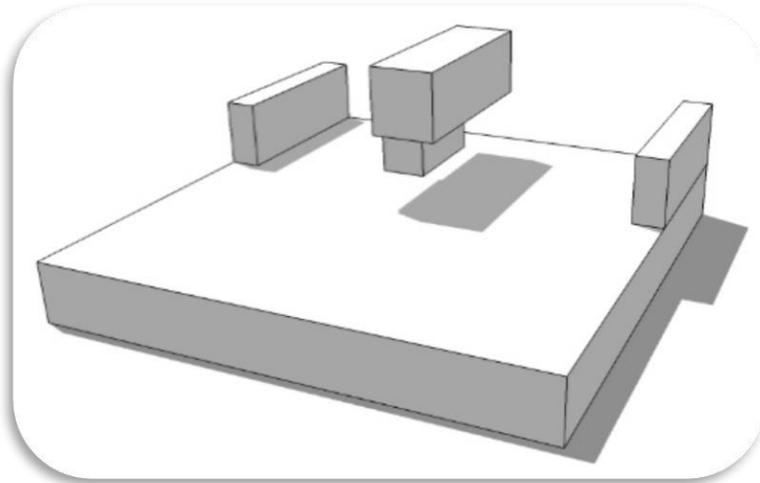


Figura 5: *Estructura modular plegada.*

Fuente: *Elaboración propia. Vista frontal de la Representación conceptual de la estructura plegada del CNC.*

5.1.3 Desmontable y plegable.

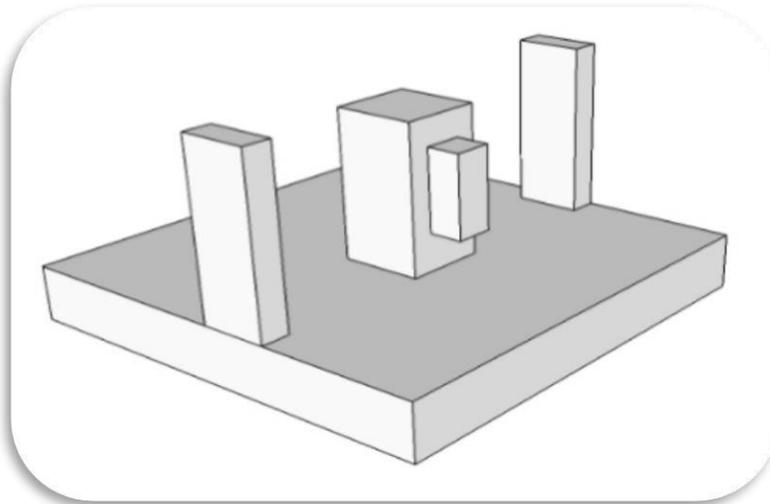


Figura 6: *Estructura modular plegable desmontable expandida.*

Fuente: *Elaboración propia. Vista frontal de la Representación de un concepto mixto CNC en uso.*

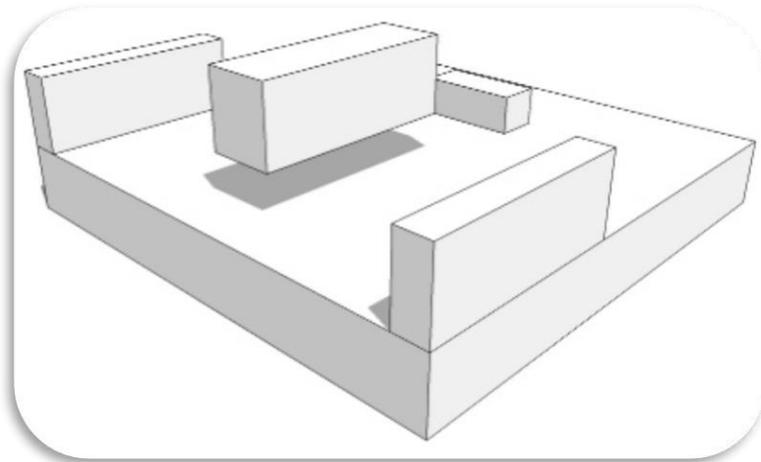


Figura 7: Estructura modular plegable y apilada.

Fuente: Elaboración propia. Vista frontal de la Representación de un concepto mixto del CNC plegado para su transportación.

5.2 Generación de alternativas para ponderación de las estructuras.

El propósito de esta etapa es poder generar un diseño óptimo, que brinde la mayoría de las facilidades de construcción y uso. Para determinar la mejor alternativa, se procederá a asignar un valor numérico del 1 al 10, donde 1 es la peor opción a tomar y 10 es la mejor opción a tomar. Una vez asignado los valores, se procederá a sumar todos sus valores, quedando como mejor opción la, que mejor valor posea.

5.2.1 Dentro de los parámetros a considerar están.

- a. Liviano.
- b. Fácil de construir.
- c. Menos costoso.
- d. Manejo por el usuario.
- e. Estética.
- f. Funcionalidad.

Tabla 1. Ponderación de las características para la estructura del CNC.

	Madera y metal	Metal Hierro	Aluminio	PVC	Aluminio y PVC
Liviano	5	4	6	7	9
Fácil de construir	7	5	6	8	8
Costo	7	6	5	4	5
Manejo	7	7	8	6	7
Estética	6	7	8	8	9
Funcionalidad	7	8	8	6	7
	39	37	41	39	45

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Construcción de la estructura de la alternativa seleccionada.

Para optimizar el diseño y fabricación, se creará un modelo en un software 3D de computadora, este nos permitirá poder visualizar, cada uno de los detalles del diseño, además de poder realizar mejoras, pruebas de engranajes y acoples. Este software además nos permitirá generar los planos necesarios para su fabricación.

5.4 Generación de planos.

Siempre que se planea la construcción de un diseño, es imprescindible la elaboración de los diferentes tipos de planos; que permiten al fabricante poder determinar con suma precisión cada una de las dimensiones del diseño, además de poder visualizar claramente los diferentes tipos de sistemas funcionales que esté presente. Es por eso que en la elaboración de nuestro diseño se elaboraron las diferentes vistas de nuestro diseño, donde se presentan las dimensiones fundamentales de este; además de los detalles presentes en el diseño.

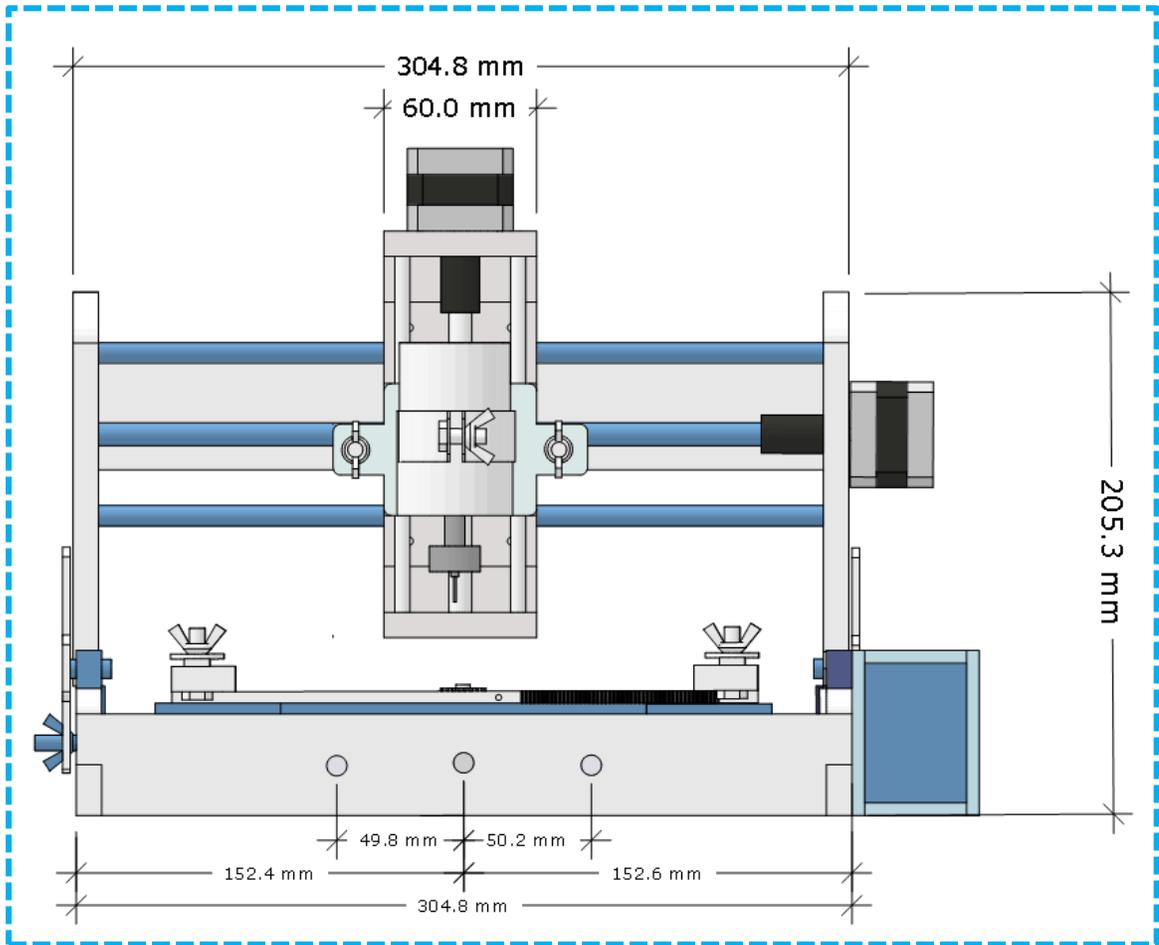


Figura 8: *Plano de vista frontal.*

Fuente: *Elaboración propia. Vista que presenta las dimensiones más relevantes del diseño, además de algunos detalles del sistema de sujeción del motor y el sistema de base ajustable.*

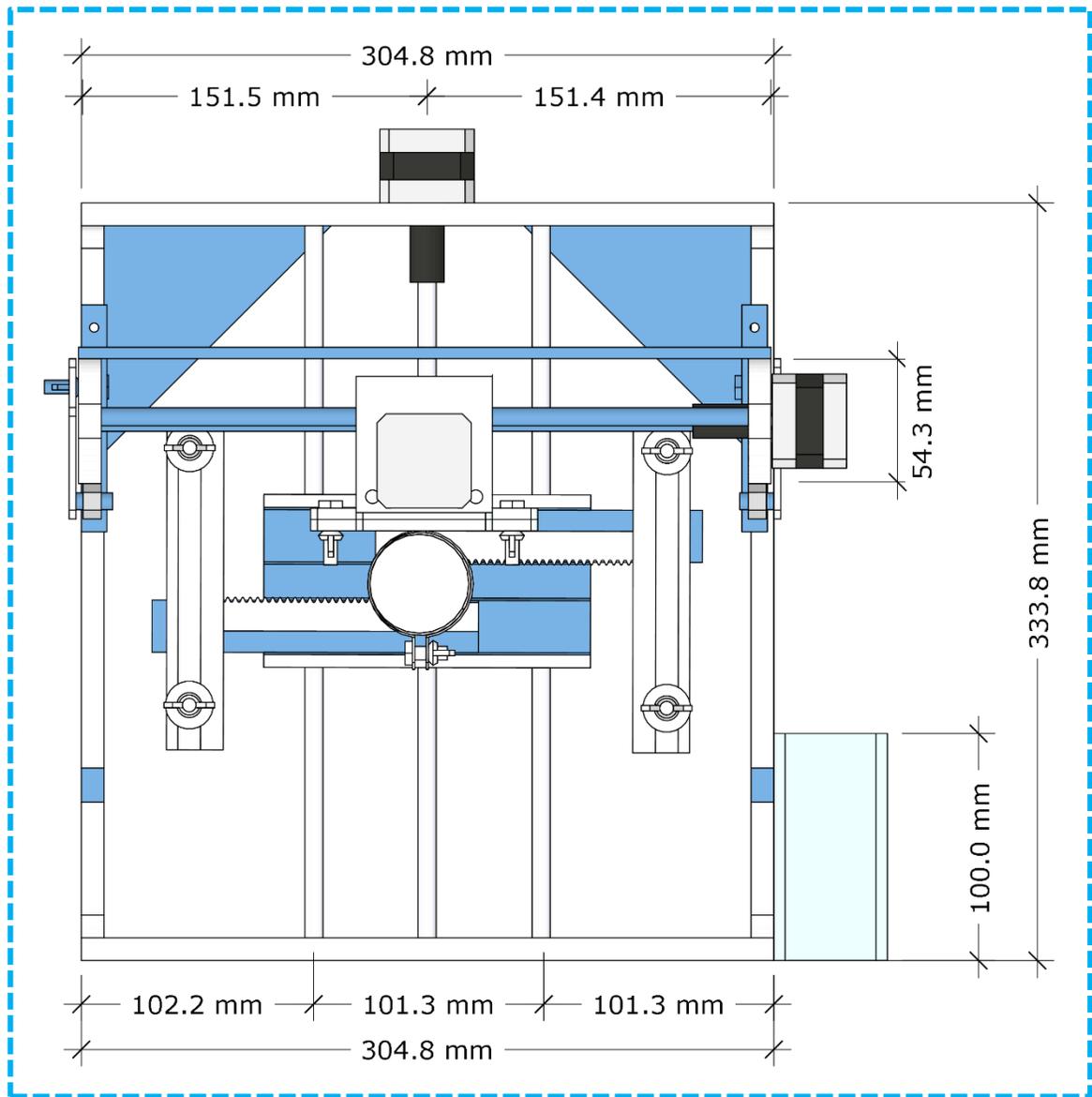


Figura 9: *Plano de vista planta.*

Fuente: *Elaboración propia. En esta vista se puede apreciar las dimensiones de ancho y profundidad en la estructura del diseño, además de ciertos detalles de la base ajustable.*

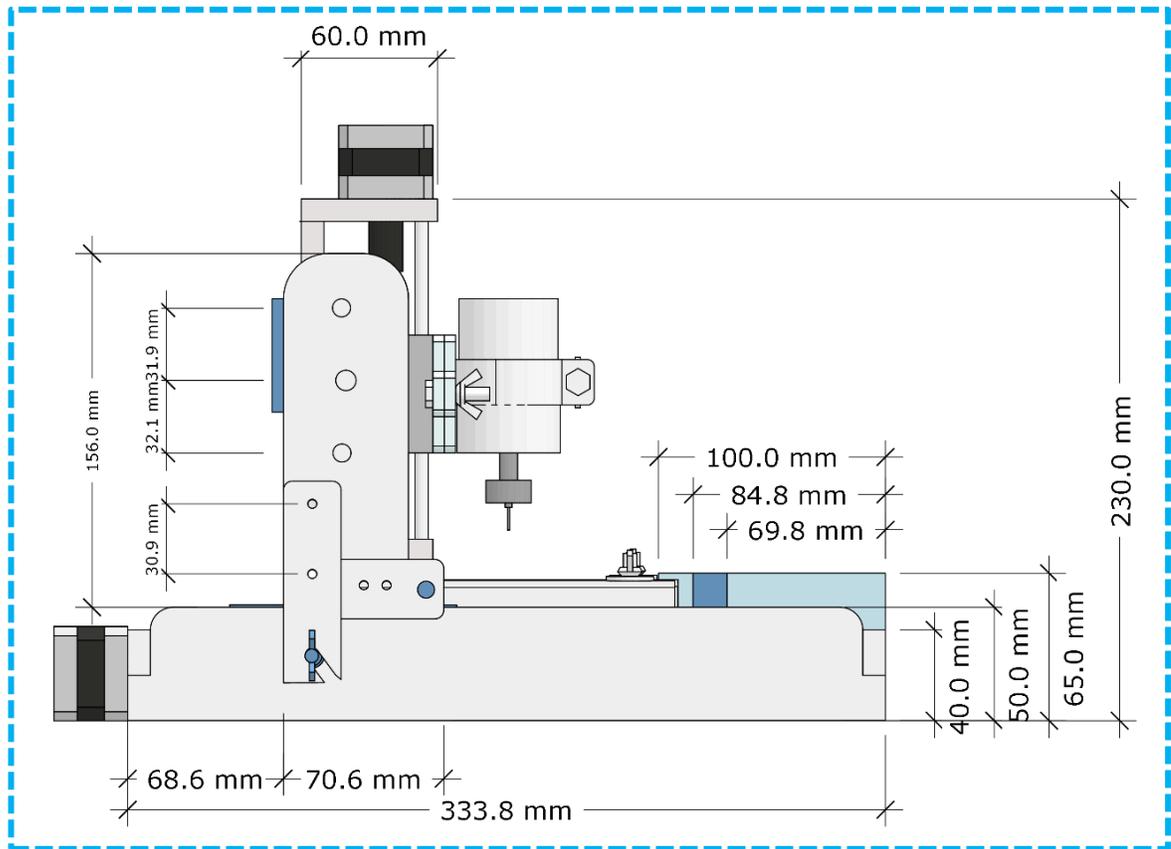


Figura 10: *Plano de vista izquierda.*

Fuente: *Elaboración propia. En esta vista se puede apreciar los detalles de uniones entre la base y el soporte del eje z, además de las dimensiones de altura.*

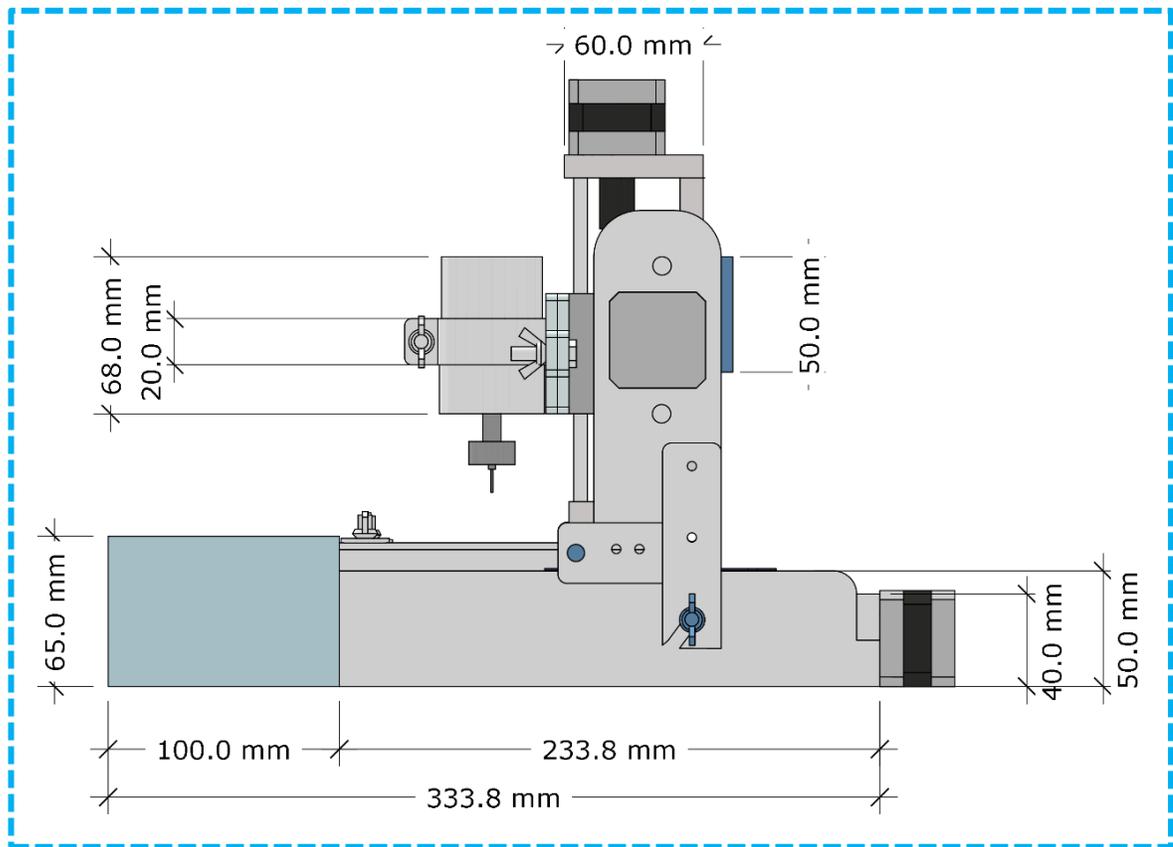


Figura 11: *Plano de vista derecha.*

Fuente: *Elaboración propia. Muchas veces existen detalles que no son visibles o interpretados únicamente con el plano de vista izquierdo, es por eso que es necesario tener un plano de vista derecho.*

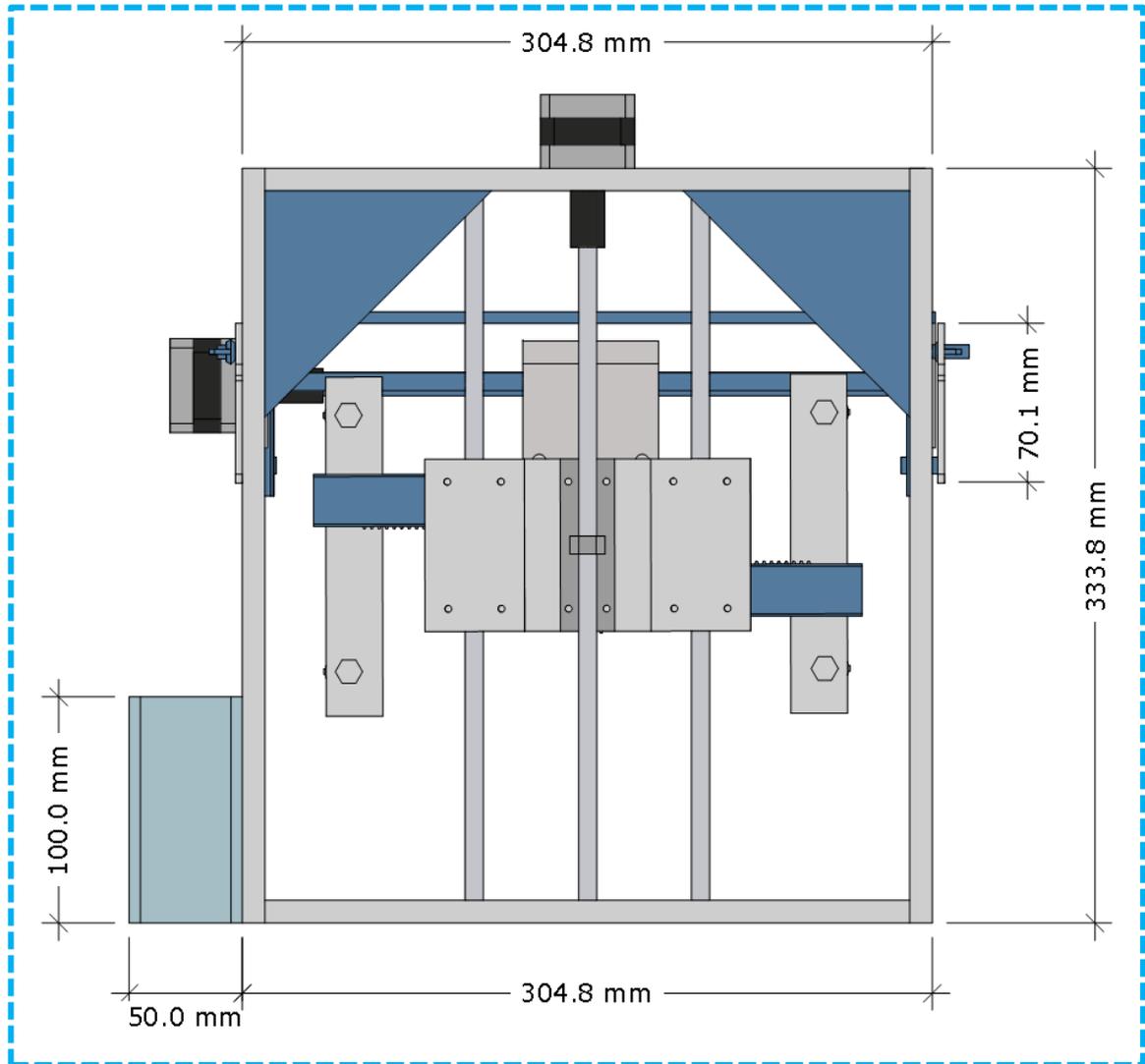


Figura 12: *Plano de vista inferior.*

Fuente: *Elaboración propia. Plano que muestra los detalles de la parte inferior del diseño, donde se pueden apreciar ciertas piezas y engranajes esenciales para el funcionamiento del diseño.*

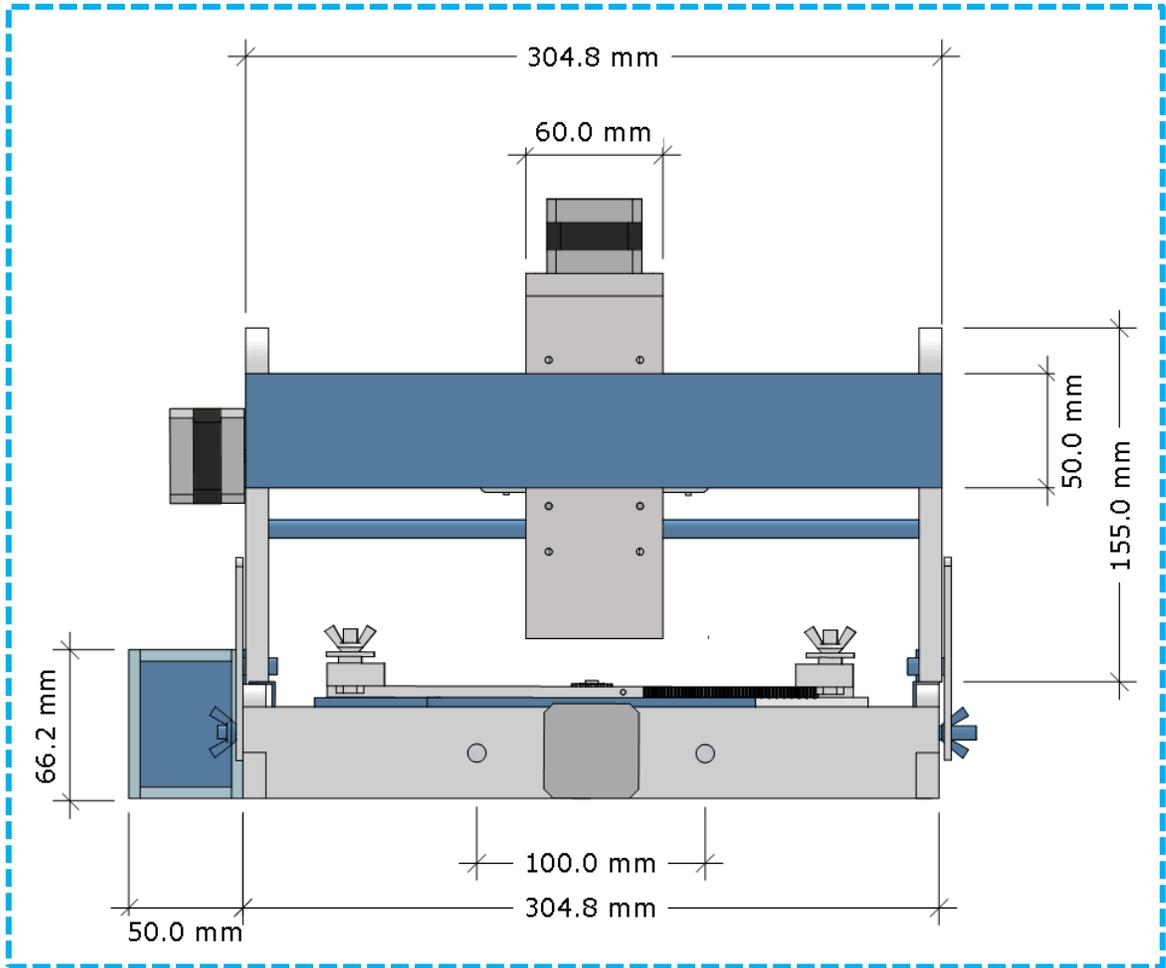


Figura 13: *Plano de vista anterior.*

Fuente: *Elaboración propia.*

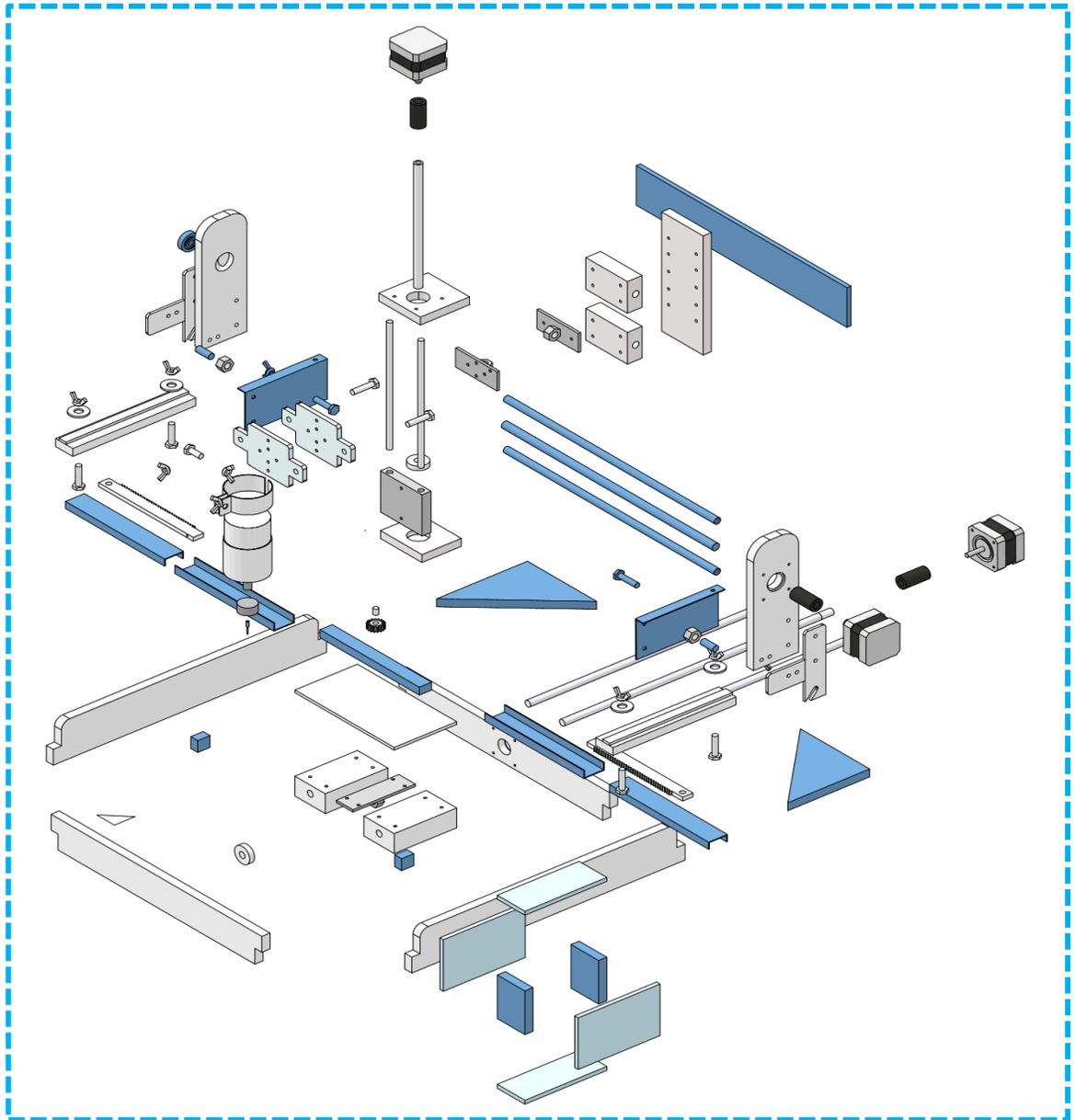


Figura 14: *Plano de vista explosiva.*

Fuente: *Elaboración propia. Vista explosiva, que muestra cada una de las piezas individuales que componen la estructura de la CNCP.*

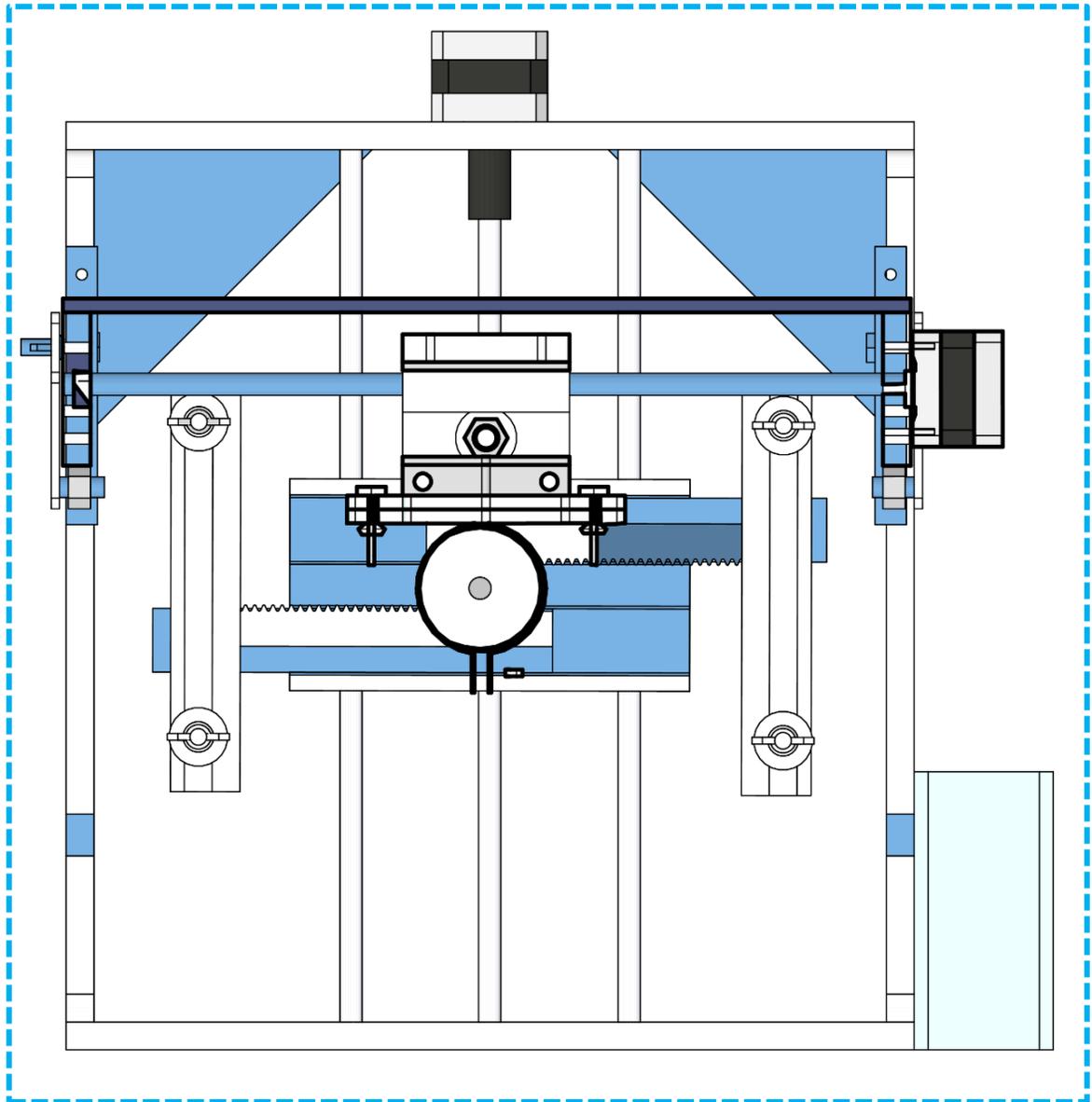


Figura 15: *Plano de vista de corte de planta.*

Fuente: *Elaboración propia. Vista de corte de planta, donde se puede apreciar los detalles internos de los sistemas de uniones y fabricación.*

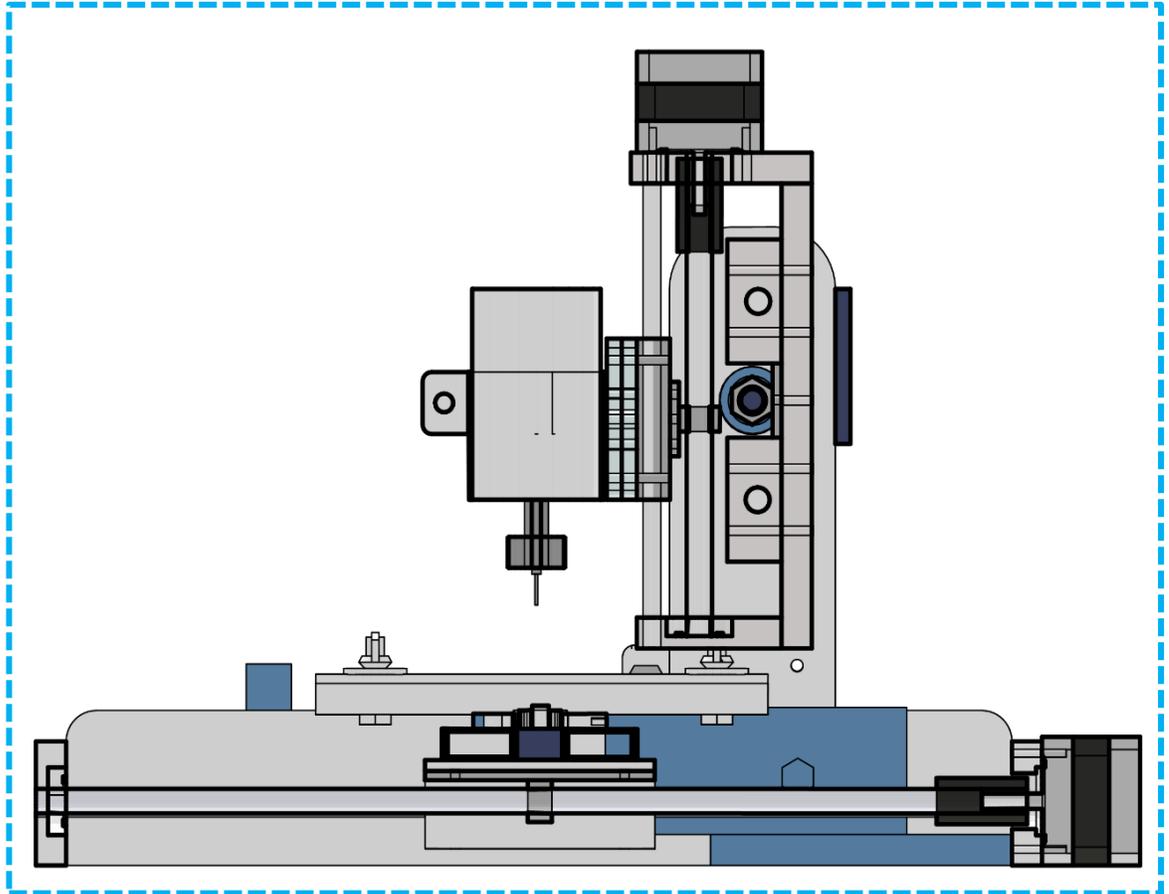


Figura 16: *Plano de vista de vista de corte derecha.*

Fuente: *Elaboración propia. Esta vista permite al fabricante, ver cada uno de los detalles que compone internamente la estructura del CNCP.*

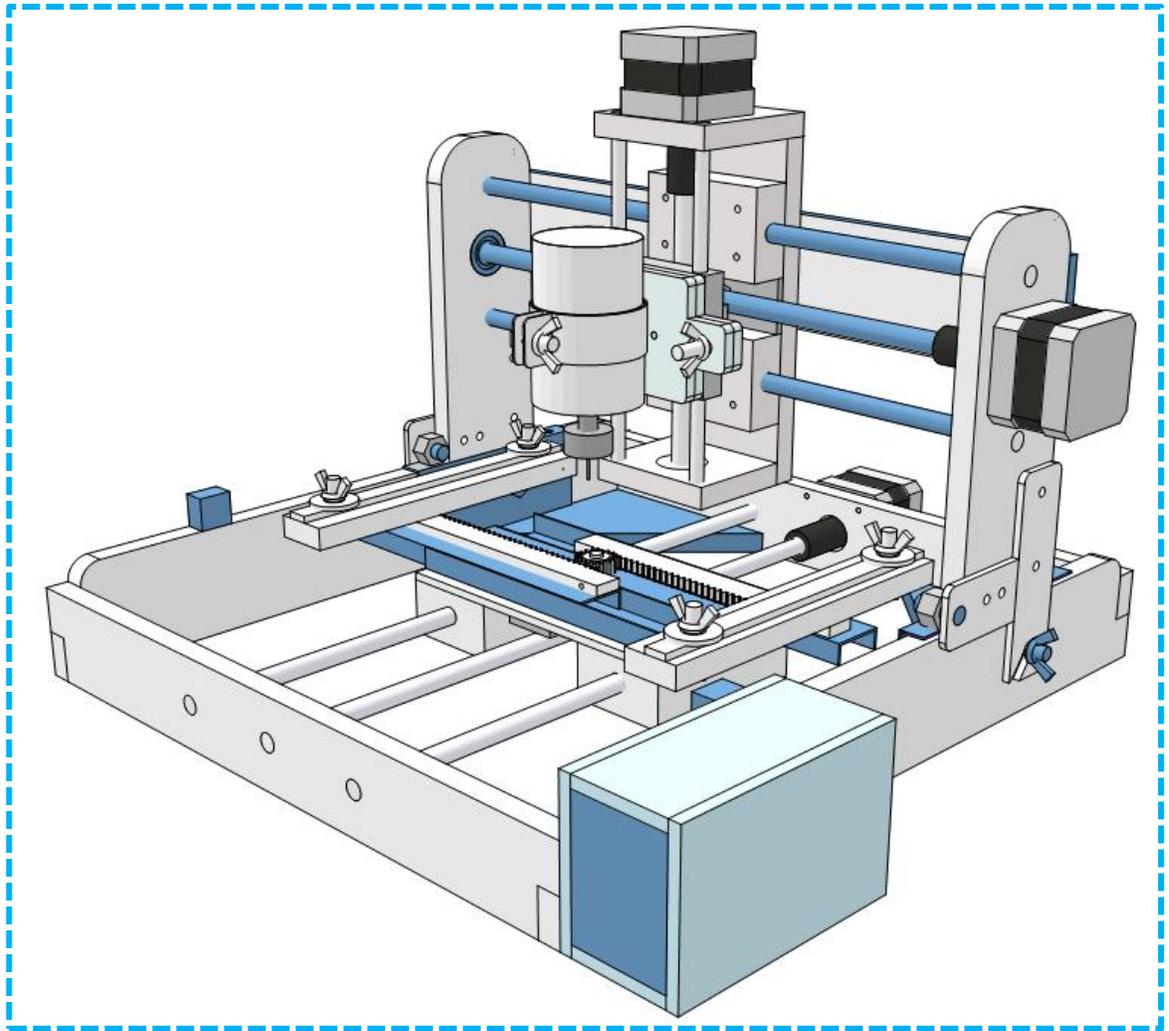


Figura 17: *Plano de vista de isométrica.*

Fuente: *Elaboración propia. La vista isométrica permite apreciar cada una de las partes y posiciones de los elementos de la CNCP. Esta vista permite al diseñador tener una vista clara de cómo se verá el producto una vez fabricado, además que permite visualizar posibles inconvenientes en el producto.*

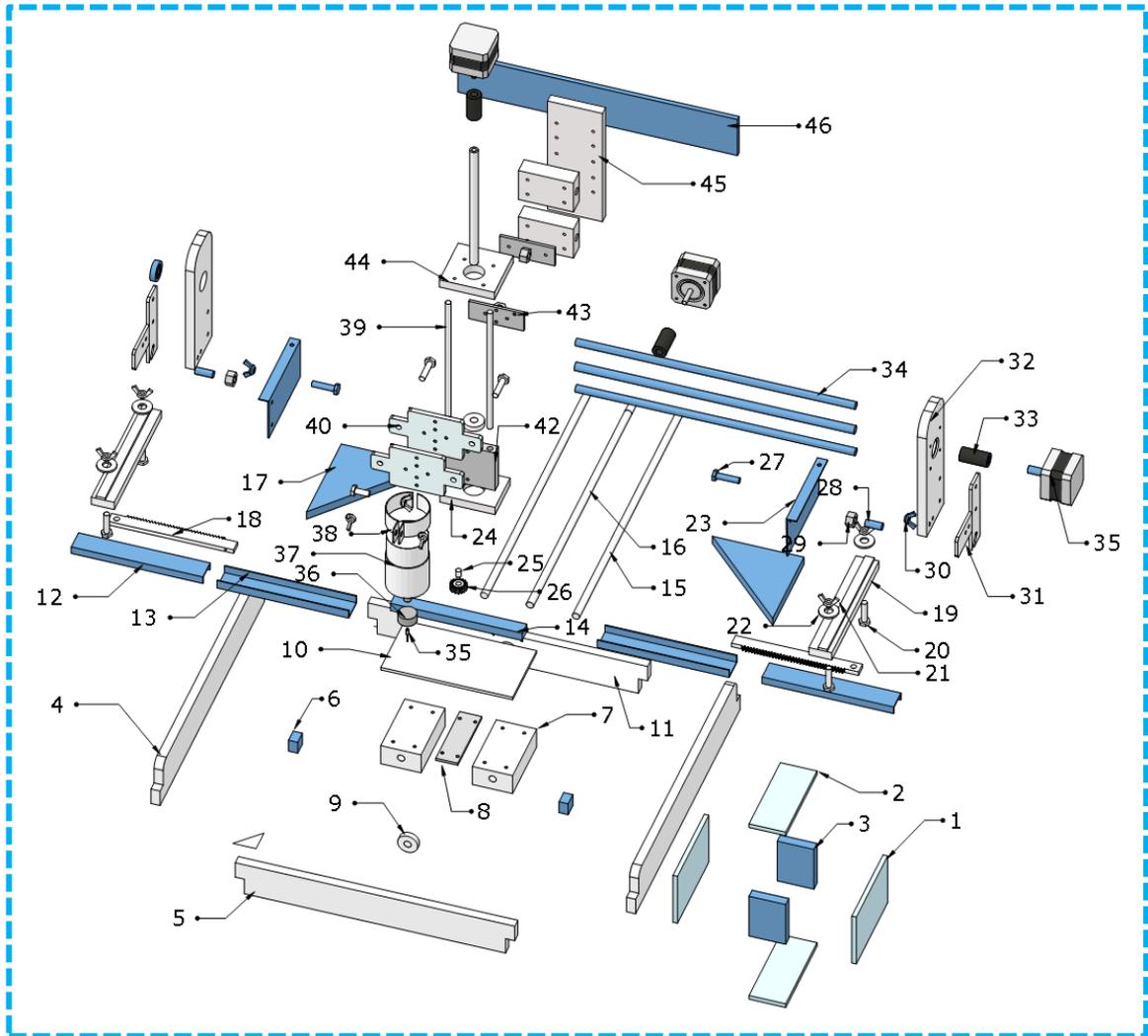


Figura 18: Enumeración de piezas.

Fuente: *Elaboración Propia. En la construcción de un prototipo es vital poder tener un orden, conteo y enumeración de cada una de las piezas. Este detalle permite poder tener un proceso de construcción más clara y ordenado del producto.*

5.4.1 Proceso de Construcción.

5.4.1.1 Construcción de estructura.

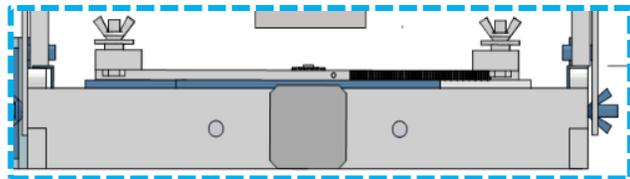
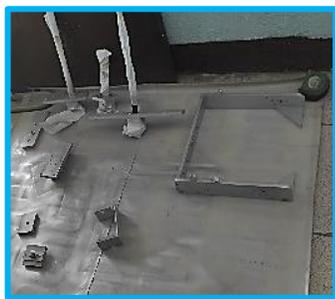
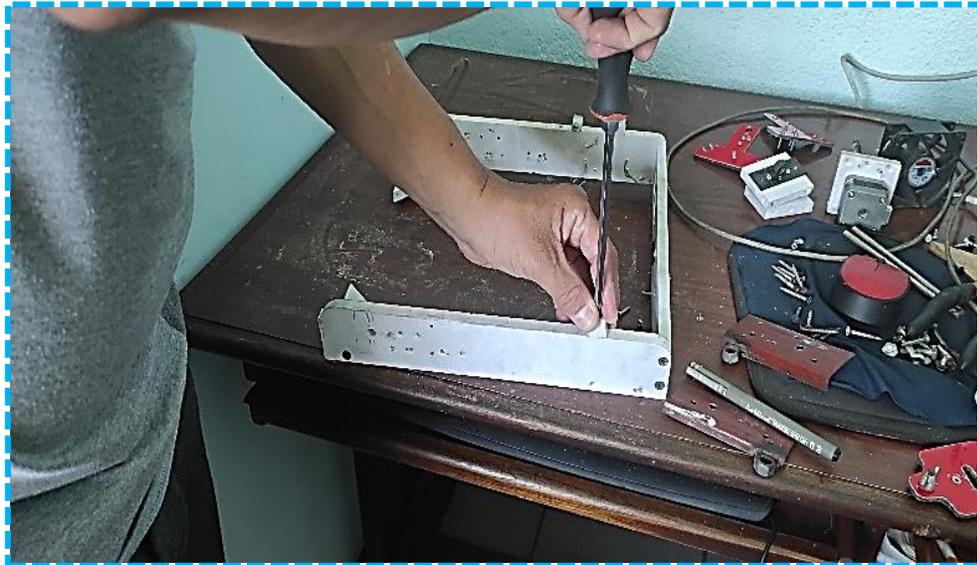


Figura 19: Construcción de base de la estructura.

Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción de la estructura, se utilizó material PVC de 1cm de espesor. Al ser un material suave de manejar, se utilizó solamente un cúter para el corte de las piezas; piezas se unieron con tornillo para tabla yeso, ya que estos permiten mayor agarre de los materiales suaves; como la madera y lamina yeso.

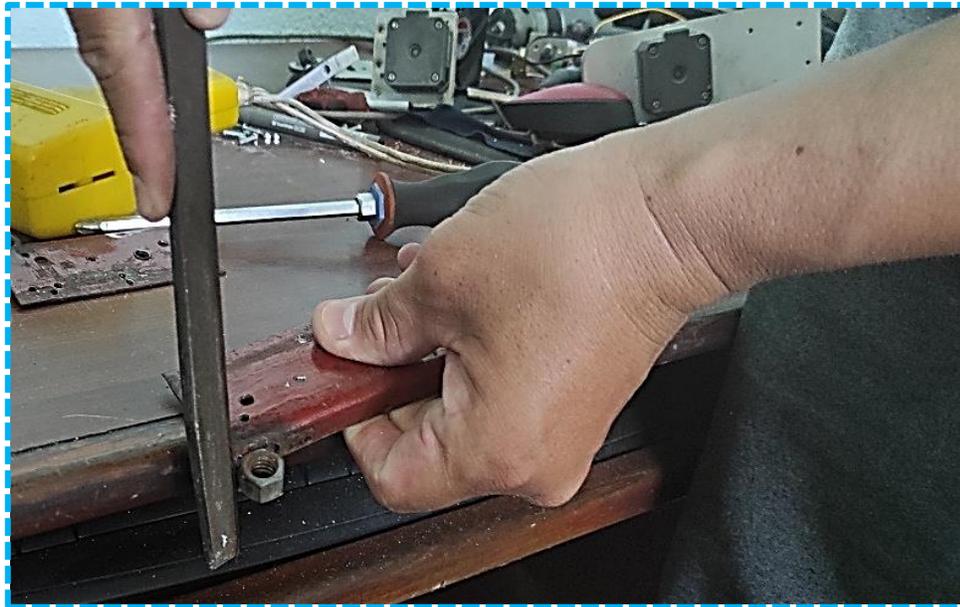


Figura 20: *Construcción de piezas, para giro de los ejes x e y.*

Fuente: *Elaboración Propia.*

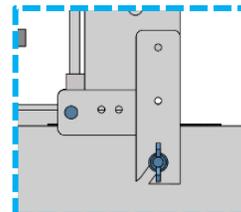


Figura 21: *Construcción de piezas para unión de ejes.*

Fuente: *Elaboración propia.*

Los ejes que permiten el acople de la base y los soportes verticales fueron construidos con hierro, debido a que se necesitaba que estos fueran lo suficientemente fuerte.



Figura 22: Soporte del motor de corte.

Fuente: Elaboración propia.

La base de engranajes que sostiene la baquelita y los soportes de agarre de los ejes, al igual que el soporte del motor de corte; fueron construidos de aluminio compuesto de 5mm, este tipo de material fue seleccionado no solo por lo liviano del material sino también por su facilidad de corte.

El soporte del motor de corte, se elaboró con lamina metálica; Esta se colocó alrededor del motor y se fijó con perno para permitir el cambio de la pieza en un futuro.

5.4.2 Conexión del protector.

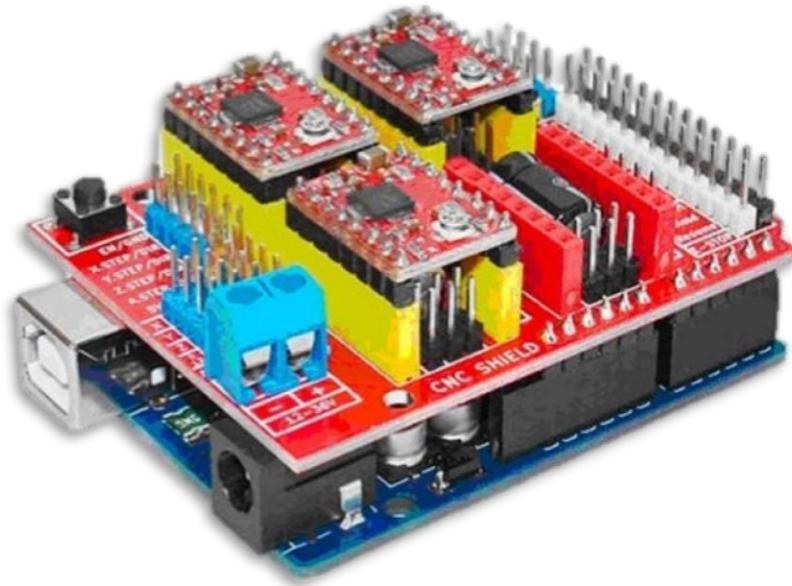


Figura 23: *Arduino CNC Shield V3.00.*

Tomado de: <https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield/>. [9]

La CNC Shield para Arduino: Es una pequeña placa que permite controlar hasta 4 motores paso a paso fácilmente con tu Arduino, gracias a su formato shield. Soporta 4 controladores de potencia Pololu A4988 O Pololu DRV8825 (no incluidos) y de todas las conexiones necesarias para conectar interruptores de final de carrera, salidas de 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. [10].

Con esta placa podrás disponer de un sistema completo para montar tu propia máquina CNC, cortadora láser o cualquier otro sistema que necesite un control preciso con motores paso a paso. La conexión del protector(shield) es muy sencilla, ya que lo único que hay que hacer es acoplarlo con la tarjeta Arduino.

Se coloca sobre al Arduino, procurando que todos sus pines queden bien alineados. Recordar que la alimentación de este protector va desde 8 hasta 36 v.

5.4.2.1 características eléctricas.

- Compatible con GRBL 0.8c. (Fimware Open Source para Arduino que convierte G-code a instrucciones para motores PAP).
- Soporte para 4 ejes (X, Y, Z , A).
- 2 conexiones para finales de carrera para cada eje (6 en total)
- Salida "Spindle enable" y "direction".
- Salida "Coolant enable".
- Compatible con Pololu A4988 y DRV8825.
- Jumpers para control de micro-stepping (Los controladores como el DRV8825 soportan hasta 1/32 para más precisión).
- Diseño compacto.
- Los motores pueden ser conectados con bornes tipo Molex de 4 pines.
- Alimentación: 12-36V DC. (Dependiendo de los controladores utilizados).

5.4.3 Funcionamiento y configuración de los drivers.

Tabla 2. Especificaciones eléctricas del driver A4988.

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
A4988						
DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection						
ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at T _A = 25°C, V _{BB} = 35 V (unless otherwise noted)						
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V _{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V _{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R _{DS(ON)}	Source Driver, I _{OUT} = –1.5 A	–	320	430	mΩ
		Sink Driver, I _{OUT} = 1.5 A	–	320	430	mΩ
Body Diode Forward Voltage	V _F	Source Diode, I _F = –1.5 A	–	–	1.2	V
		Sink Diode, I _F = 1.5 A	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I _{BB}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I _{DD}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	V _{IN(1)}		V _{DD} × 0.7	–	–	V
	V _{IN(0)}		–	–	V _{DD} × 0.3	V
Logic Input Current	I _{IN(1)}	V _{IN} = V _{DD} × 0.7	–20	<1.0	20	μA
	I _{IN(0)}	V _{IN} = V _{DD} × 0.3	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R _{MS1}	MS1 pin	–	100	–	kΩ
	R _{MS2}	MS2 pin	–	50	–	kΩ
	R _{MS3}	MS3 pin	–	100	–	kΩ
Logic Input Hysteresis	V _{HYS(IN)}	As a % of V _{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t _{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t _{OFF}	OSC = V _{DD} or GND	20	30	40	μs
		R _{OSC} = 25 kΩ	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V _{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I _{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	err _I	V _{REF} = 2 V, %I _{TripMAX} = 38.27%	–	–	±15	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{TripMAX} = 70.71%	–	–	±5	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{TripMAX} = 100.00%	–	–	±5	%
Crossover Dead Time	t _{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold ⁴	I _{OC PST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T _{TSD}		–	165	–	°C
Thermal Shutdown Hysteresis	T _{TSDHYS}		–	15	–	°C
VDD Undervoltage Lockout	V _{DDUVLO}	V _{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	V _{DDUVLOHYS}		–	90	–	mV

¹For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

²Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

³V_{ERR} = [(V_{REF}/8) – V_{SENSE}] / (V_{REF}/8).

⁴Overcurrent protection (OCP) is tested at T_A = 25°C in a restricted range and guaranteed by characterization.

Fuente: <http://www.datasheet.es/PDF/788474/A4988-pdf.html>. En esta tabla se puede apreciar las características eléctricas del controlador A4988, tales como: Rango de voltaje permitido, rango de voltaje lógico, selector de micropasos entre otros.

5.4.3.1 Funcionamiento.

Como en la mayoría de los controladores de motores el componente fundamental es un puente-H, destinado a controlar motores paso a paso, se dispone de dos puentes-H (uno por canal) constituidos por transistores MOSFET.

Sin embargo, a diferencia de controladores más simples como el L298N o el TB6612FNG, que presenta una electrónica relativamente simple, el **A4988** tiene una electrónica considerablemente más compleja. Uno de los motivos para esta complejidad es que **únicamente requieren dos señales digitales de control** para hacer funcionar el motor, y que incorporan las protecciones necesarias para su manejo.

El otro motivo de la complejidad de su electrónica es que incorpora funciones especialmente diseñadas para el control de motores paso a paso, como son el regulador de intensidad y el Microstepping.

5.4.3.2 Configuración.

Entes este proyecto está usando el driver A4988, el cual necesario calibrar; para evitar perder pasos, calentar el motor o sufrir algún daño a la hora del funcionamiento del CNC. Para una correcta calibración se utilizará la ecuación sugerida por el fabricante, la cual se describe a continuación.

$I_{TripMAX} = V_{REF} / (8xRS)$ donde:

$I_{TripMAX}$ es la corriente máxima del motor, en este caso es de 0.4A,

V_{REF} es el voltaje especificado para calcular la forma de trabajo del motor, en este caso será a paso completo. Si despejamos la ecuación tenemos que:

$$V_{REF} = I_{TripMAX}(8xRS)$$

$$V_{REF} = 0.4A(8x0.1\Omega) = 0.32V$$

pero como trabajaremos con pasos completos según la tabla debemos de multiplicar por EL 70%.

Quedando que $V_{REF} = 0.32V \times 0.7 = 0.224V$

Para el ajuste de los drivers es necesario poder seguir el siguiente procedimiento.

Tomamos un Multímetro y conectar la tierra al GND del A4988 y el extremo positivo a un destornillador el cual se coloca al potenciómetro, es recomendable para poder ir viendo los valores en tiempo real en el multímetro. A medida que gira el desatornillador se puede apreciar en el potenciómetro los valores hasta obtener el valor deseado, en este caso es de 0.224V.

Tabla 3. Resolución de los de los micro pasos de los motores paso a paso.

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

Fuente: <http://www.datasheet.es/PDF/788474/A4988-pdf.html>.

5.4.4 Motores.

5.4.4.1 Motor DC 12-24V



Figura 24: Motor DC.

Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/SainSmart-Genmitsu-3018-PROVer-20000RPM-equilibrio/dp/B092DDS745>. [11]. Este motor es usado comúnmente para cortes en CNC modelos, SainSmart Genmitsu CNC Router Machine 3018.

Especificaciones: Velocidad 20000 RPM, Voltaje 24 Voltios.

5.4.4.2 Motores paso a paso.

Tabla 4. Especificaciones eléctricas de motor de paso a paso.

Sus principales características son: Ángulo de paso	1.8 grados
Pasos	200 pasos/vuelta
Fases	4
Voltaje	12V
Corriente	0.4/fase
Diámetro del eje	6.35mm
Par	14Kg/cm
Formato	NEMA 17

Fuente: Elaboración propia.

5.4.4.2.1 Funcionamiento.

Los motores paso a paso, están diseñados para que avancen con mucha precisión, esto lo logra con su sistema de imágenes en forma de dentadura, los cuales permite que los paso los realice de manera gradual. Como podemos observar en la figura, los polos de los imanes que conforman el campo, están distribuidos de manera que estos avancen cierta cantidad de grados por cada paso, en el caso de los motores que estamos usando tienen 200 pasos por cada vuelta, lo que significa que el motor avanza 1.8 grados por cada paso.

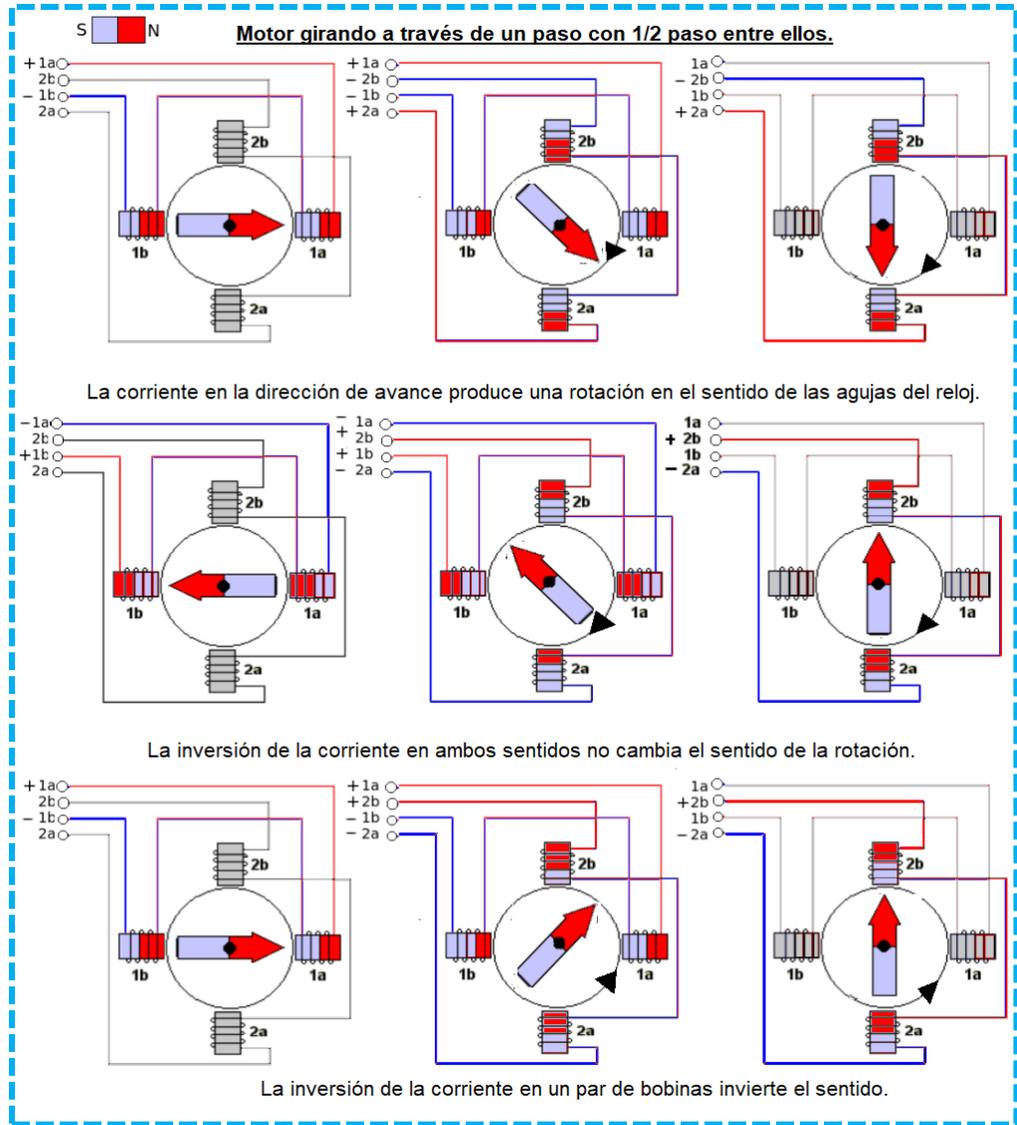


Figura 25: Diagrama de pasos de un motor paso a paso.

Fuente: <https://solectroshop.com/es/blog/como-funcionan-los-motores-pap-que-son-los-microsteps-n90>. [12].

5.5 Instalación del sistema electrónico.

5.5.1 Características eléctricas de Arduino.

Tabla 5. Características eléctricas de Arduino uno R3.

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Tensión de entrada	7-12V
Límite tensión de entrada	6-20V
Pines digitales E/S	14 (6 PWM)
Pines analógicos entrada	6
Corriente pin E/S	40mA
Corriente pin 3.3V	50mA
Memoria flash	32 KB (0.5KB bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Fuente: Elaboración propia.

5.5.2 Instalación de driver.

Para la instalación de los drivers se presenta el siguiente diagrama, donde se reflejan las conexiones del motor paso a paso y sus respectivos pines. En el diagrama de la *figura 25* vemos el pin Vm está conectado a la alimentación de voltaje entre 8 y 25V, que en este caso viene del protector (shield).

La tierra del protector se conecta a GND del driver. Los pines B2, B1, A1 y A2 van a los cables del motor, en la imagen se puede apreciar que B1 y B2, conecta los extremos de una bobina al igual que los pines A1 y A2.

Los pines STEP y DIR, van conectados a los pines del microcontrolador 9 y 8 respectivamente. Los pines reset y sleep están activos en bajo y se conectan a tierra.

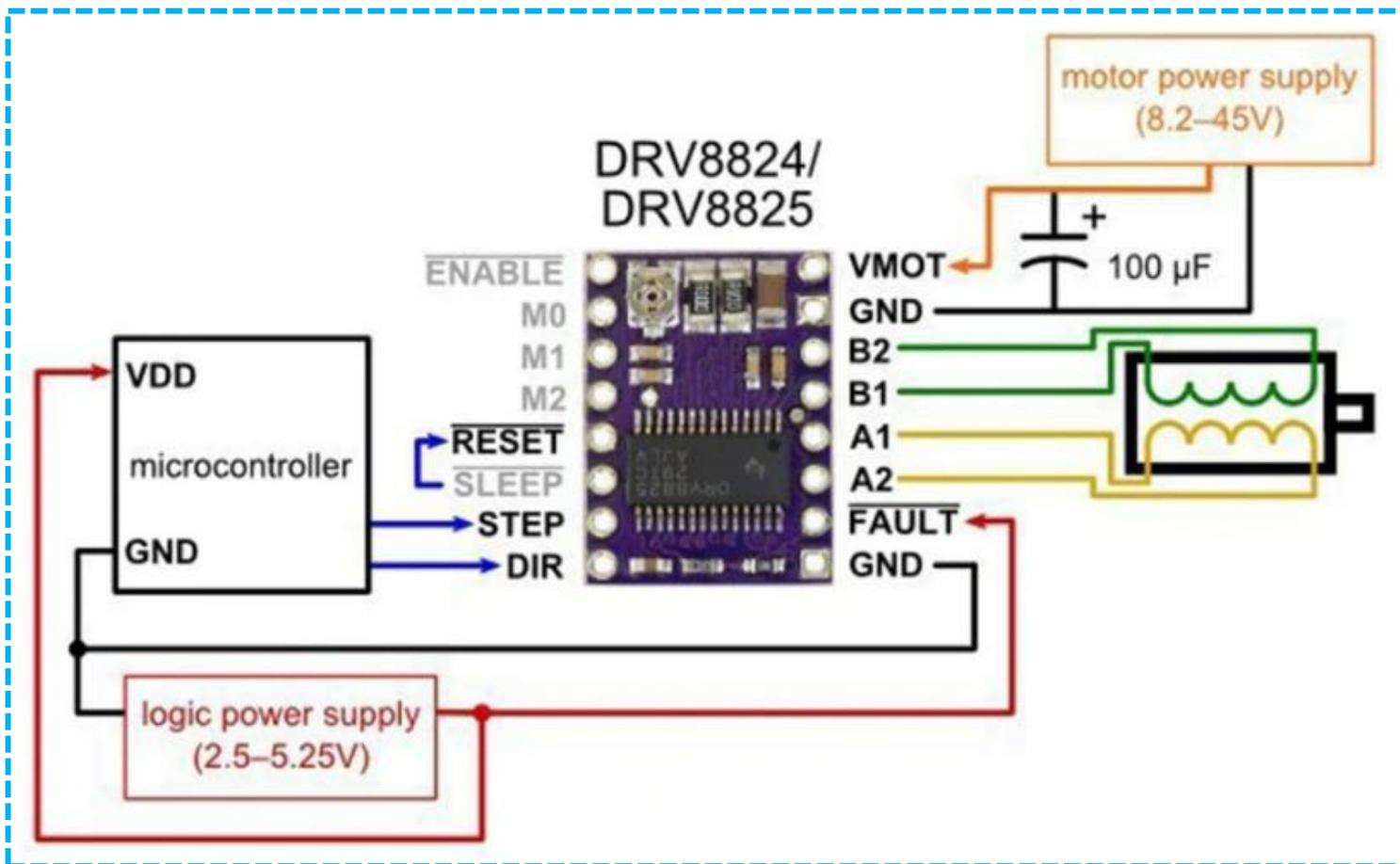


Figura 26: Diagrama de conexión del driver A4988.

Fuente: <https://www.diarioelectronico hoy.com/blog/descripcion-del-driver-a4988/drv8824-8825>. [13]

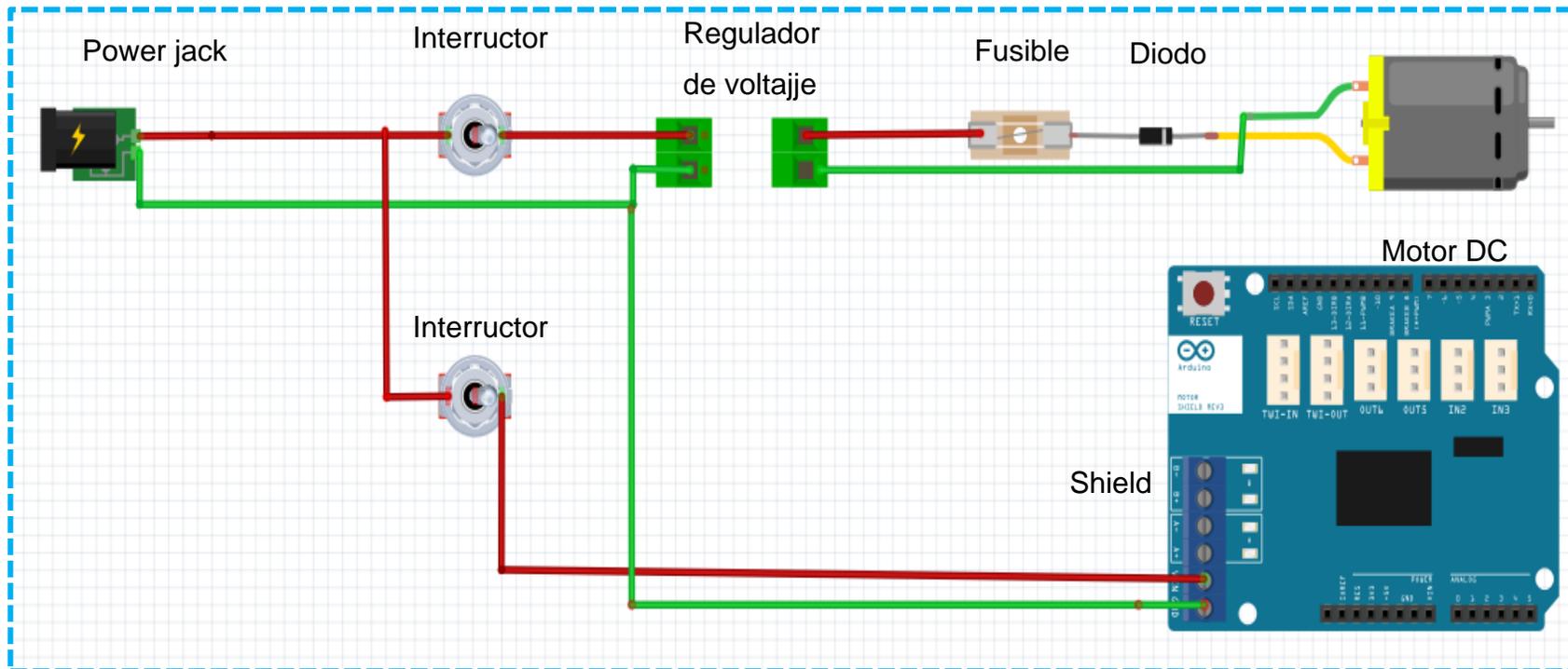


Figura 27: Diagrama de conexión eléctrica.

Fuente: elaboración propia.

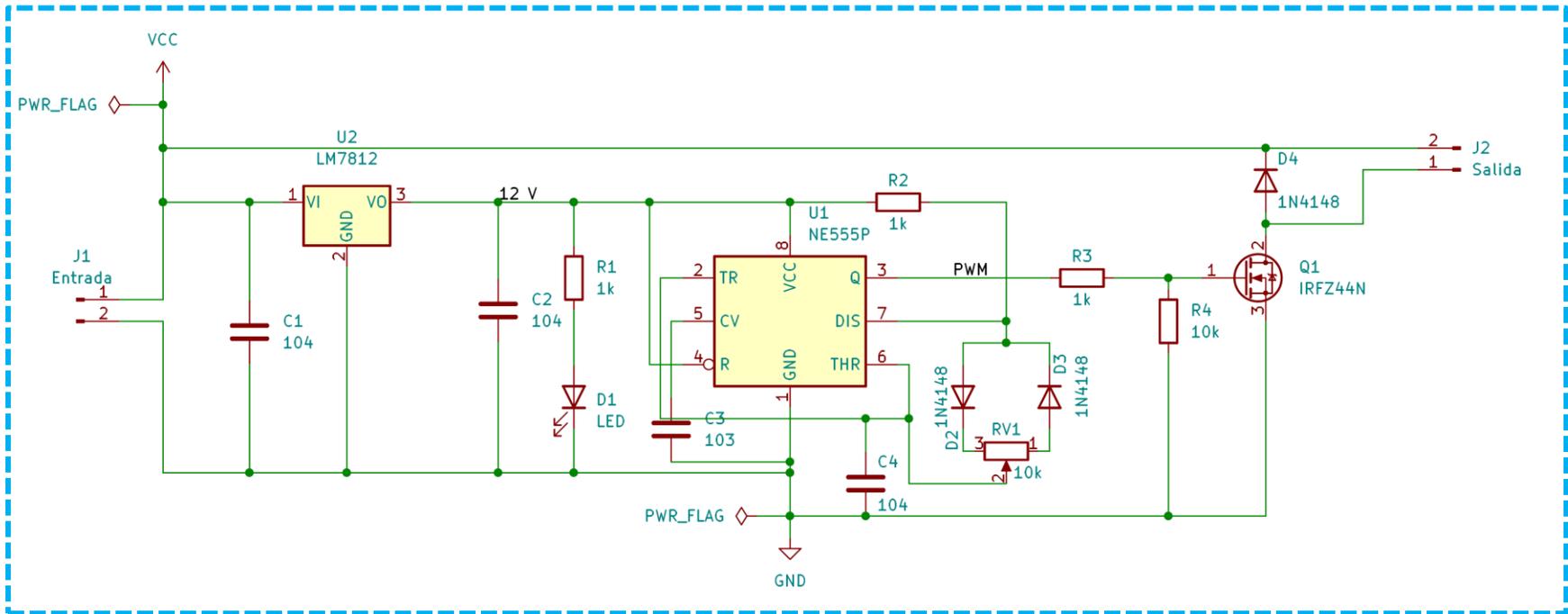


Figura 28: Diagrama de regulador de voltaje DC.

Fuente: <https://techsawco.com/how-to-make-775-motor-speed-pwm-controller-circuit/>. [14]

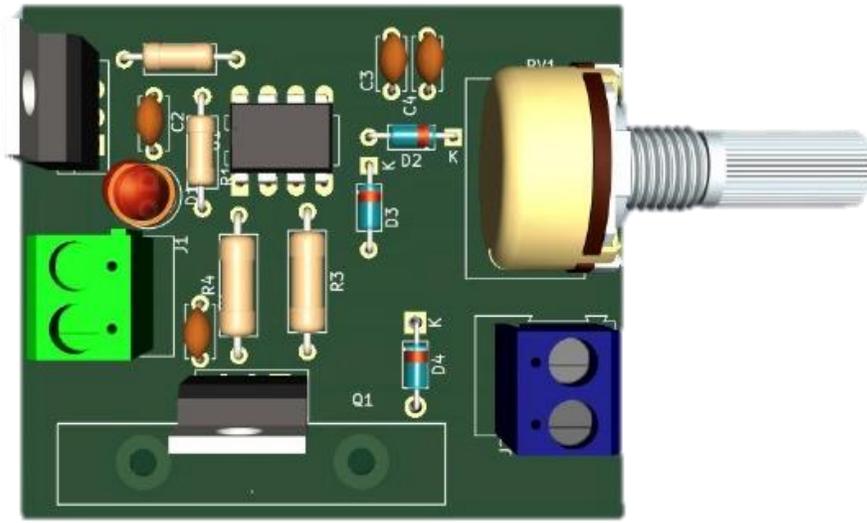


Figura 29: Circuito electrónico de regulador de voltaje 2D.

Fuente: Elaboración propia.

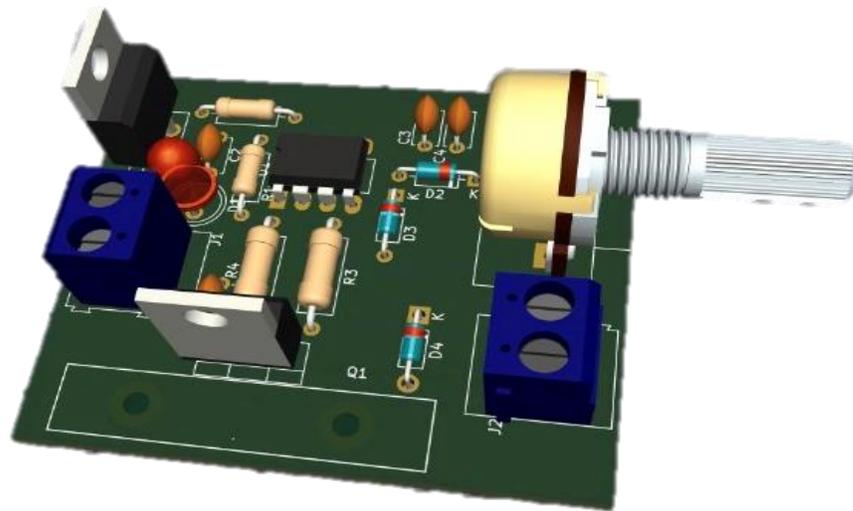


Figura 30: Circuito electrónico de regulador de voltaje 3D.

Fuente: elaboración propia.

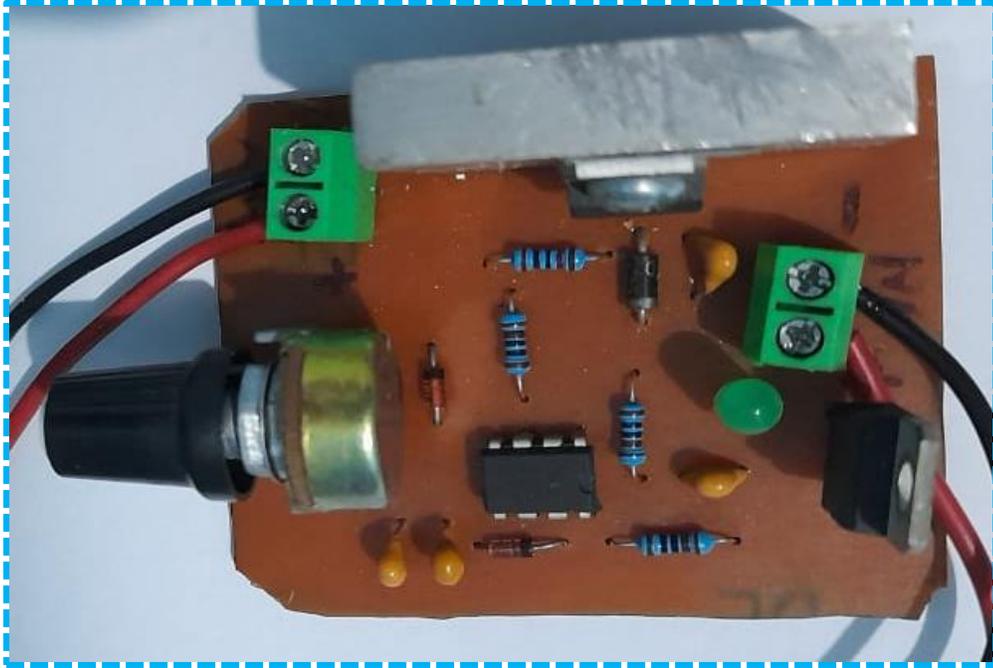


Figura 31: *Circuito electrónico real.*

Fuente: *elaboración propia.*

5.5.3 Instalación del sistema electrónico.

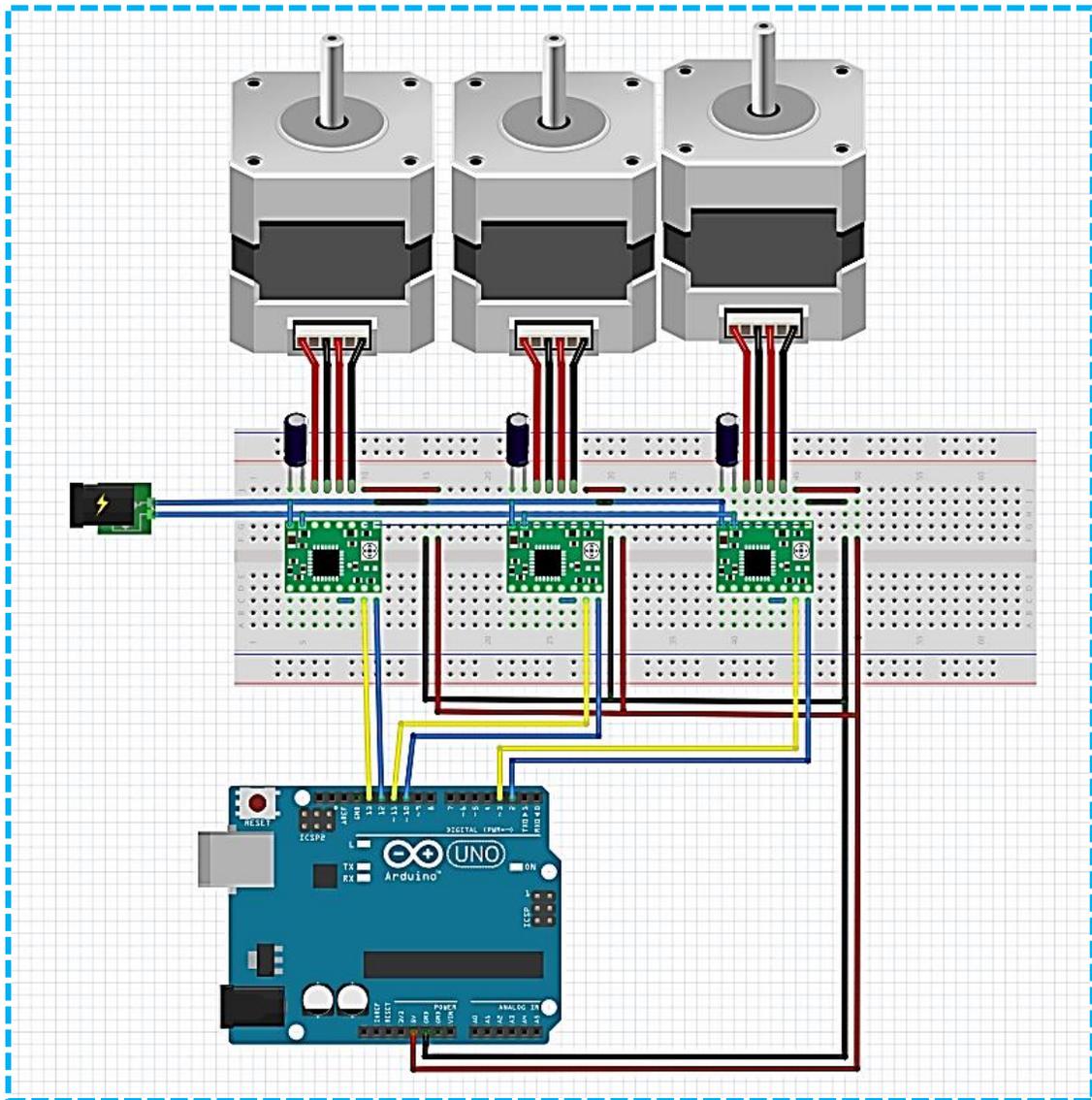


Figura 32: *Diagrama de conexión del sistema electrónico.*

Fuente: elaboración propia

5.6 Diagrama electrónico del circuito.

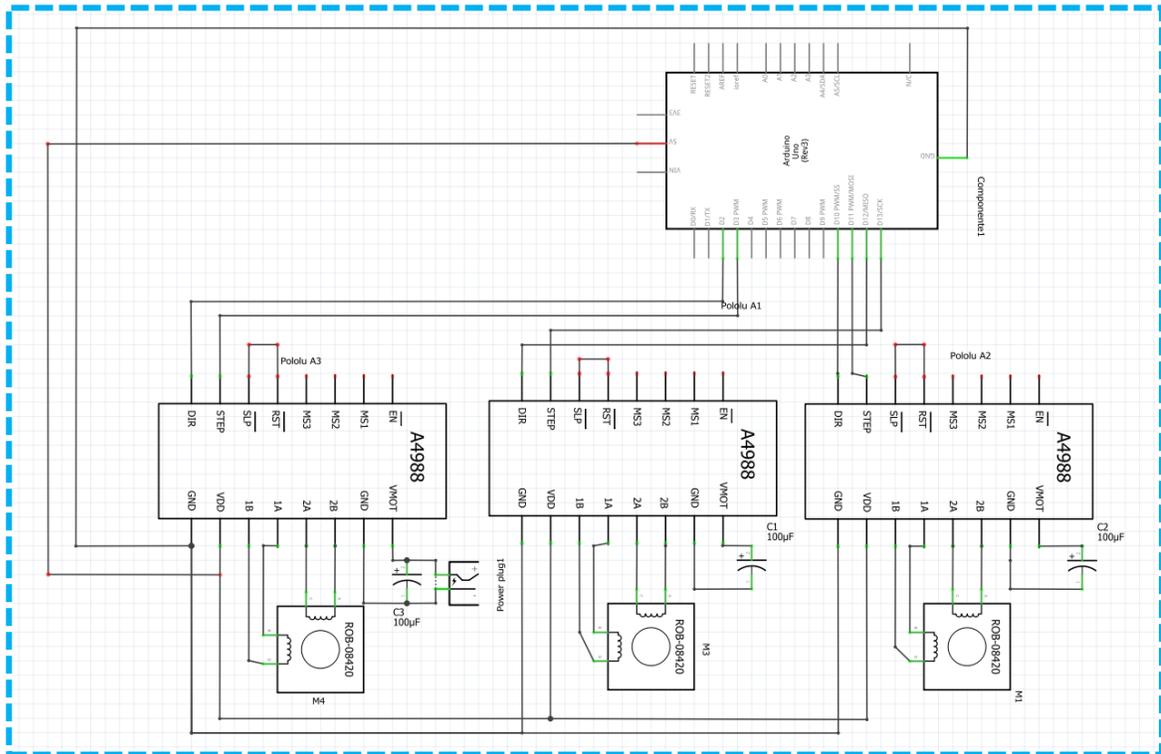


Figura 33: Diagrama del sistema de conexión de Arduino, drivers y motores paso a paso.

Fuente: elaboración propia.

5.7 Imágenes reales de CNCP terminado.

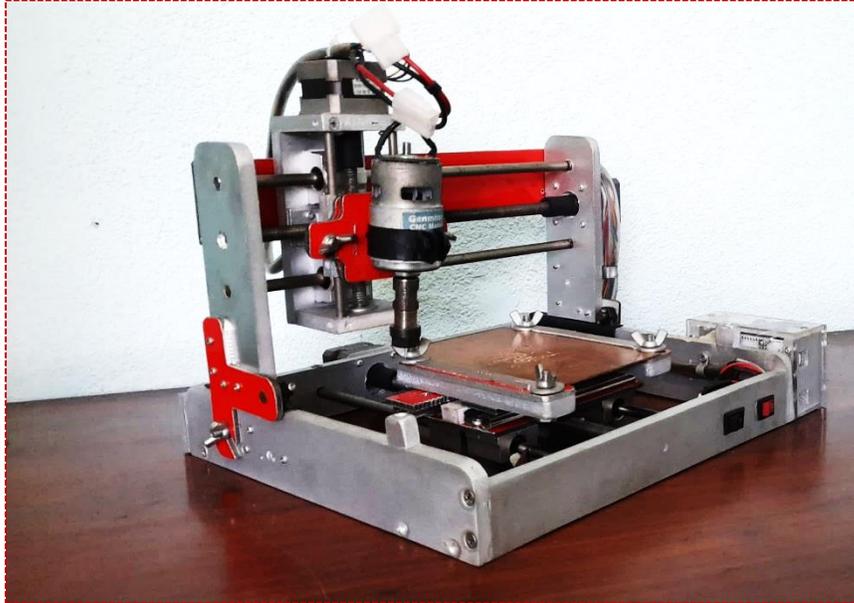


Figura 34: *Imagen de estructura de CNCP terminado.*

Fuente: elaboración propia.

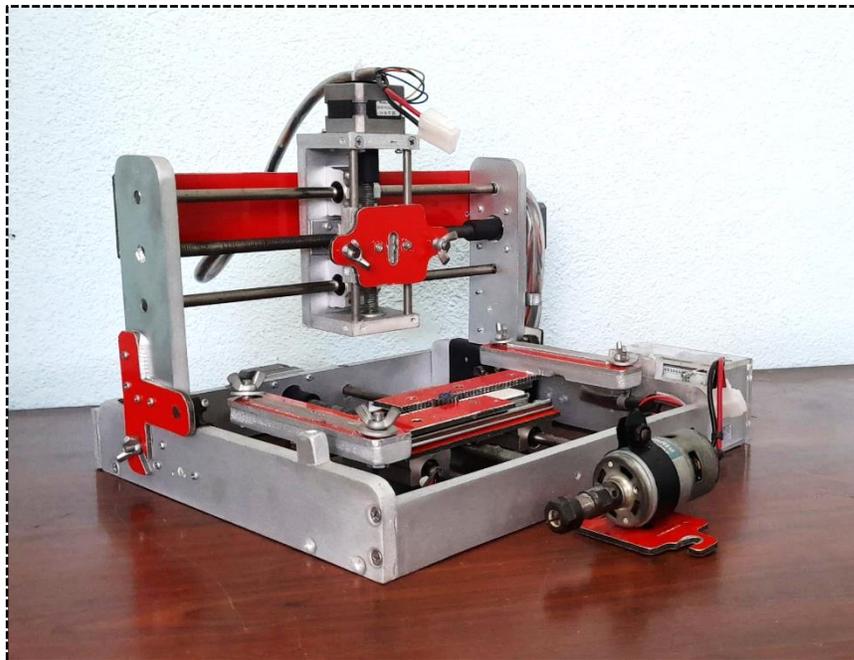


Figura 35: *CNC con motor desmontado.*

Fuente: elaboración propia.

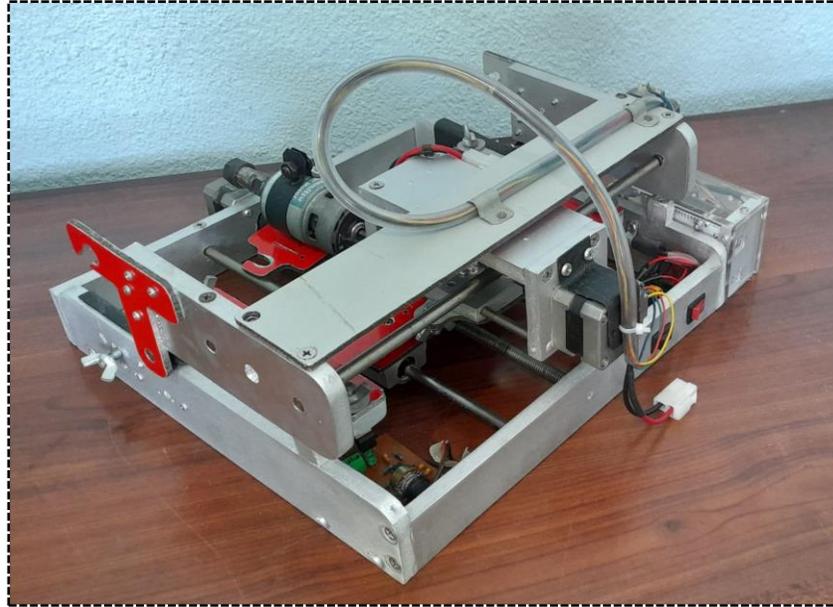


Figura 36: *CNCP plegado.*

Fuente: elaboración propia.

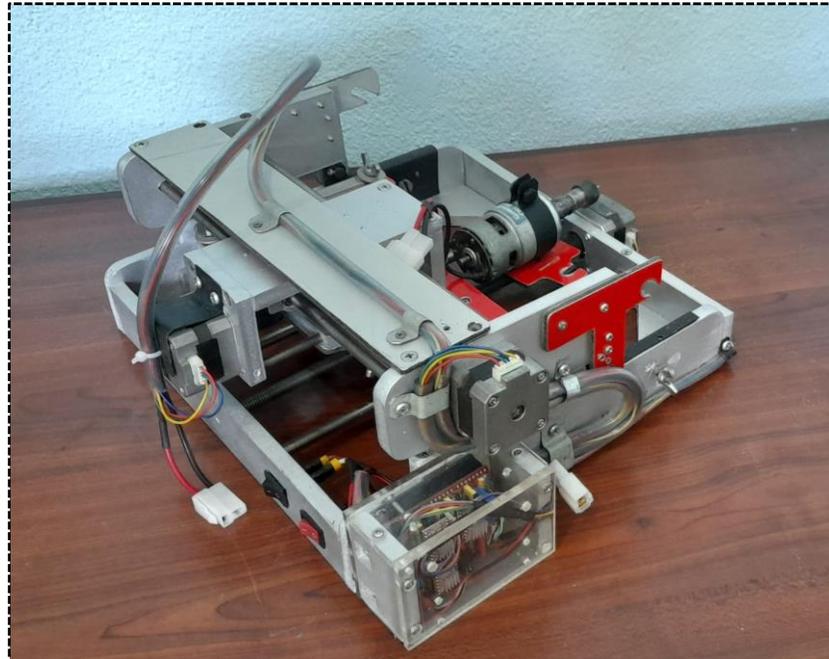


Figura 37: *Vista de CNCP plegado caja de electrónicos.*

Fuente: elaboración propia.

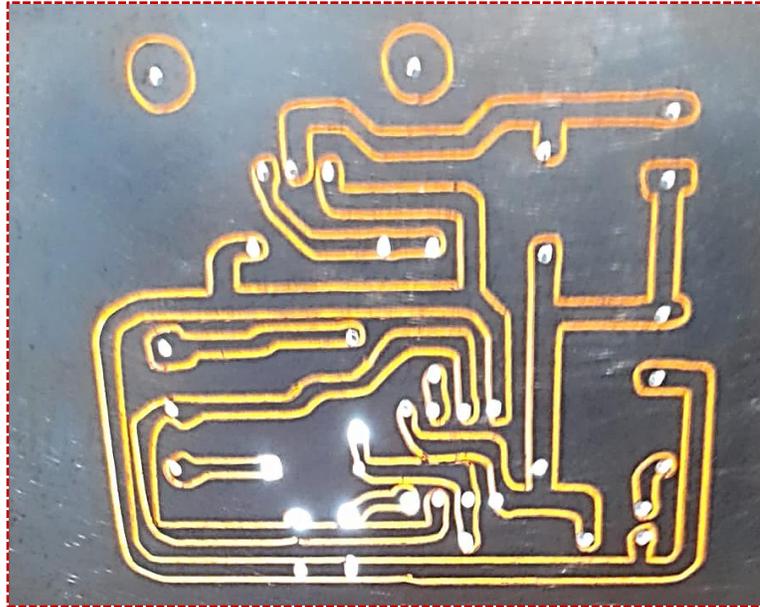
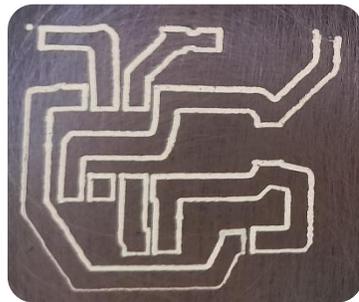


Figura 38: *Placa de circuito impreso, ruteado y perforado en CNCP.*

Fuente: Elaboración propia.



5.8 Configuración de Microcontrolador.

5.8.1 Preparación configuración del microcontrolador Arduino uno R3.

Para que Arduino pueda funcionar junto con nuestra aplicación GRBL, es necesario instalar la librería de funcionamiento.

Para su preparación:

1. abrimos el IDE de Arduino, en la pestaña de **programa**, presionamos **incluir librería** y luego agregar **librería ZIP**. Buscamos en el directorio donde tenemos instalado Arduino, vamos a la carpeta librería y la cargamos.

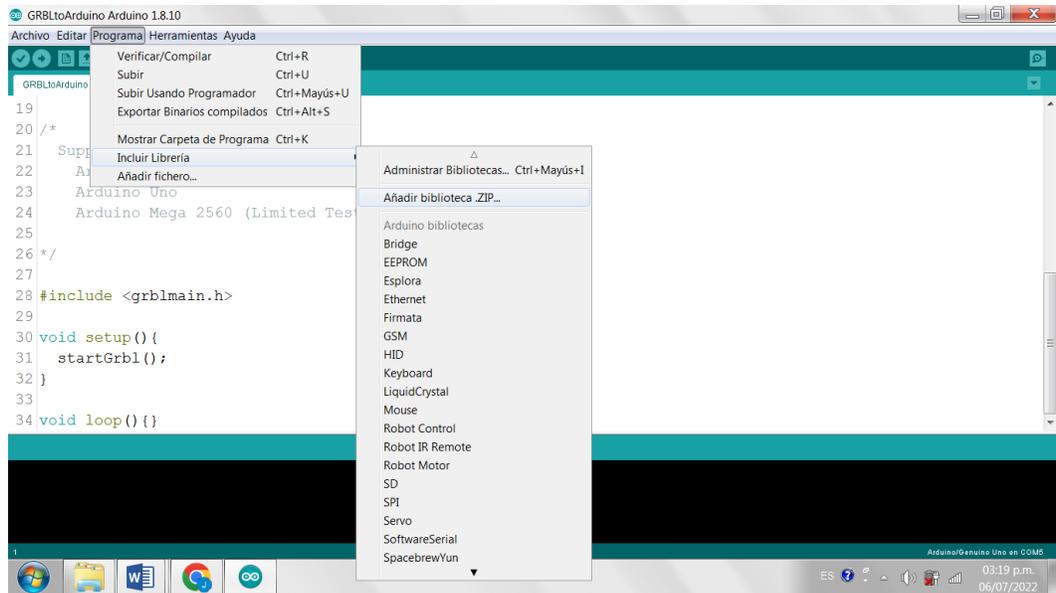


Figura 39: *Descargar librería GRBL.*

Fuente: elaboración propia

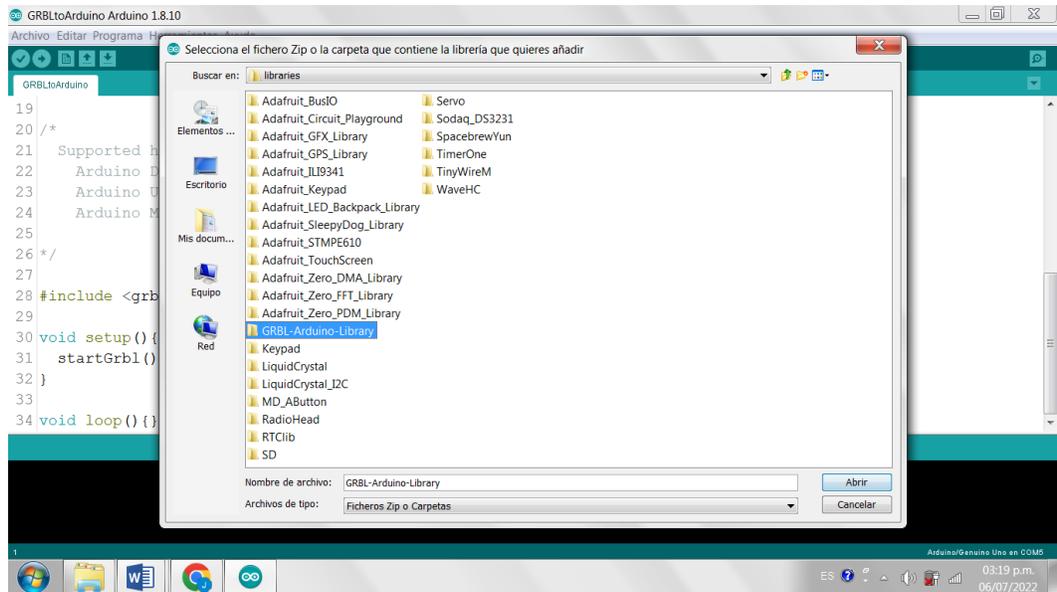


Figura 40: *Buscar librería GRBL en él directorio.*

Fuente: elaboración propia.

- Una vez cargada la librería, podemos verificarla entrando a la pestaña Programa, incluir librería y buscamos en la lista.

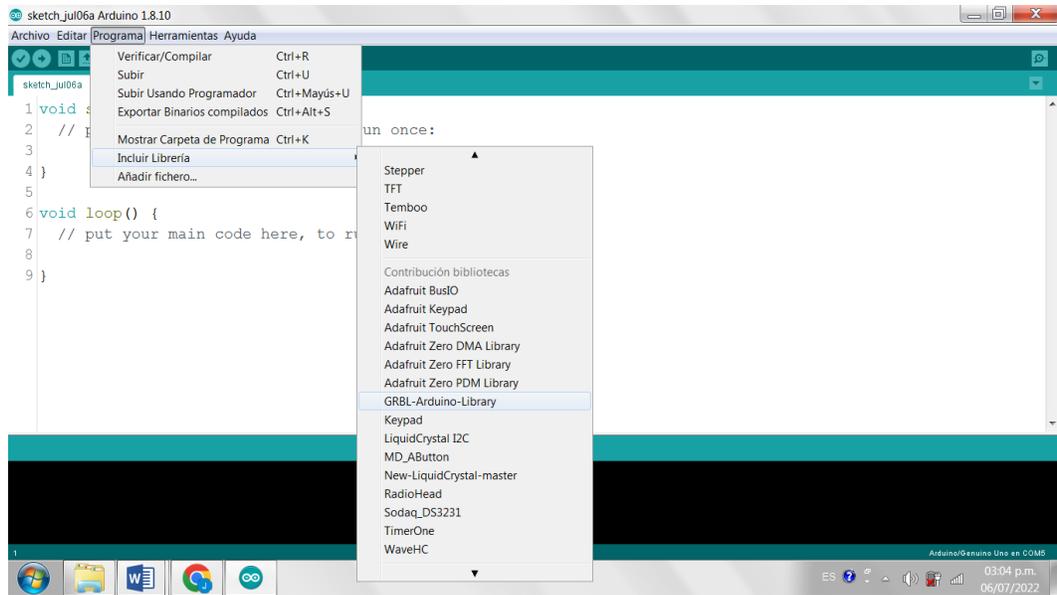


Figura 41: *Abrir librería GRBL para su carga.*

Fuente: elaboración propia.

3. A continuación, iremos a la pestaña **archivo**, **ejemplos**, **GRBL Arduino Library** y lo abrimos.

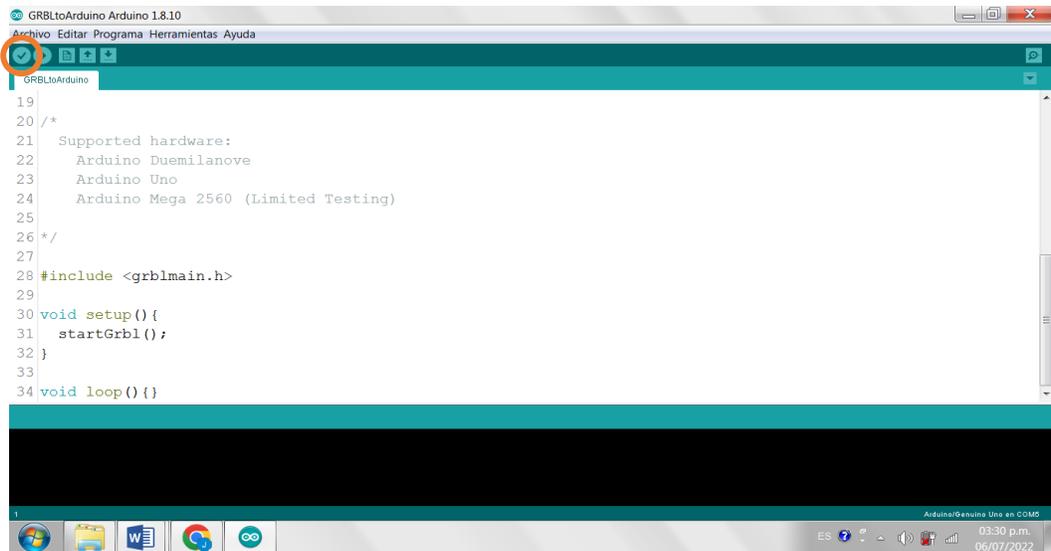


Figura 42: *Abrir librería GRBL para su carga.*

Fuente: elaboración propia.

4. Nos aseguramos que el Arduino esté conectado a nuestro pc y lo cargamos. Veremos un código en Arduino como este.
listo ya tenemos preparado el código, para su ejecución. Ahora vamos a configurar los parámetros del GRBL, para su funcionamiento.
5. Lo primero que haremos es entrar al monitor serial de Arduino y veremos esta ventana con estos caracteres. Nos dice que, para solicitar ayuda, ingresemos el signo pesos.

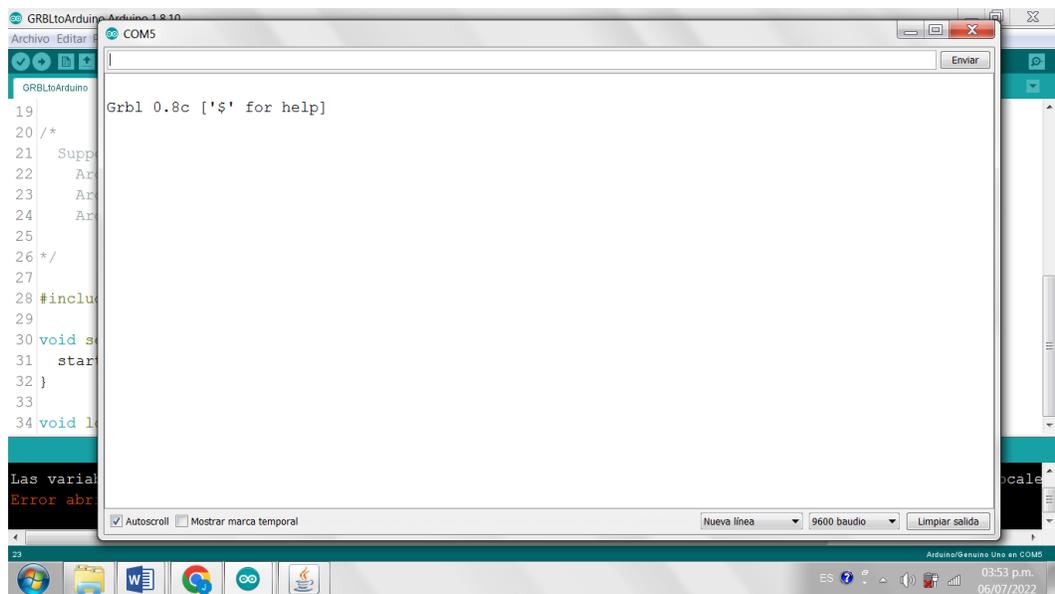


Figura 43: Configuración de los parámetros de ruteo.

Fuente: elaboración propia.

6. Ingresamos el signo peso y veremos una lista de opciones como estas

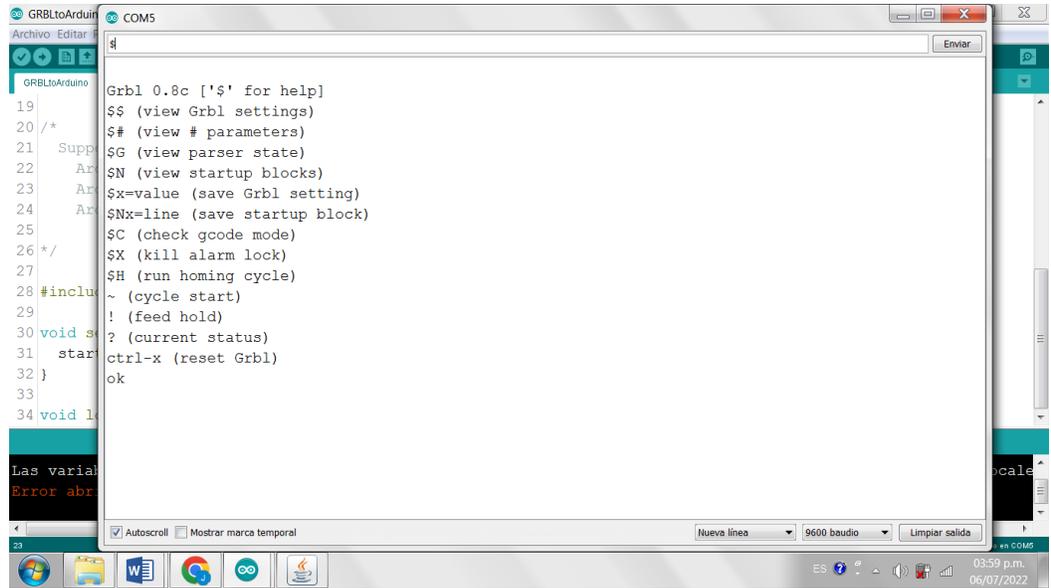


Figura 44: Configuración de los parámetros de ruteo.

Fuente: elaboración propia.

7. Veremos que para configurarlo debemos de ingresar el signo \$\$.

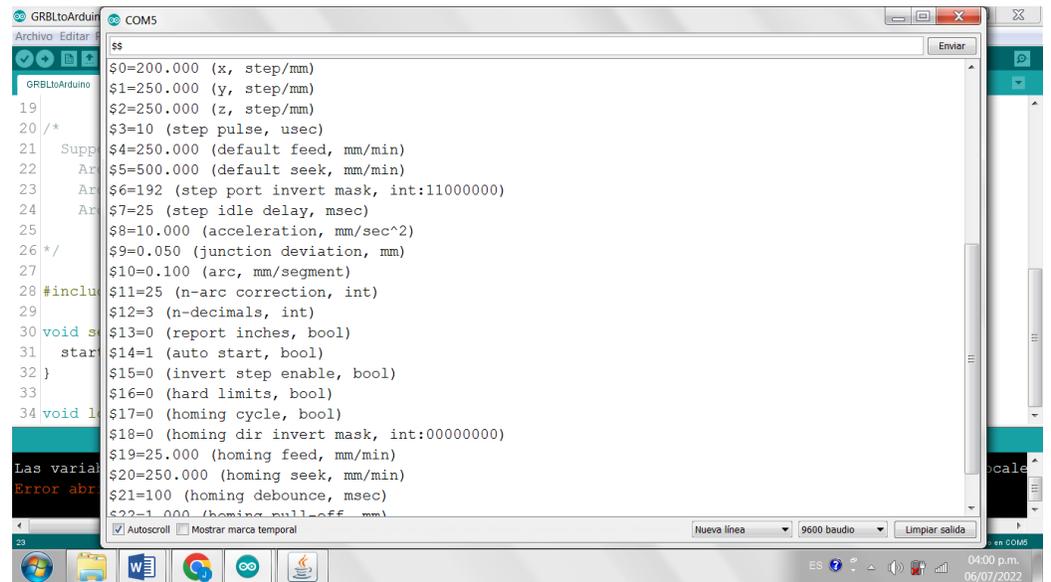


Figura 45: Configuración de los parámetros de ruteo.

Fuente: elaboración propia.

8. Ahora para modificar un parámetro específico, debemos colocar el signo peso y el número que aparece al lado. Para cambiar los pasos por milímetro, en el caso del primer parámetro, debemos ingresar \$0, esto cambiara los pasos por milímetro. Lo mismo se debe de hacer con los demás parámetros si fuese necesario. Los siguientes son los parámetros con los que está configurado el GRBL.

\$0 = 130.000 (x, step/mm)
\$1 = 130.000 (y, step/mm)
\$2 = 130.000 (z, step/mm)
\$3 = 10 (step pulse, usec)
\$4 = 250.000 (default feed, mm/min)
\$5 = 500.000 (default seek, mm/min)
\$6 = 192 (step port invert mask, int:11000000)
\$7 = 25 (step idle delay, msec)
\$8 = 10.000 (acceleration, mm/sec²)
\$9 = 0.050 (junction deviation, mm)
\$10 = 0.100 (arc, mm/segment)
\$11 = 25 (n-arc correction, int)
\$12 = 3 (n-decimals, int)
\$13 = 1 (report inches, bool)
\$14 = 1 (auto start, bool)
\$15 = 0 (invert step enable, bool)
\$16 = 0 (hard limits, bool)
\$17 = 0 (homing cycle, bool)
\$18 = 0 (homing dir invert mask, int:00000000)
\$19 = 25.000 (homing feed, mm/min)
\$20 = 250.000 (homing seek, mm/min)
\$21 = 100 (homing debounce, msec)
\$22 = 1.000 (homing pull-off, mm)
ok

5.9 Generación de archivos de corte

5.9.1 Generando archivo ngc.

Para generar los archivos de ruteo, utilizaremos el programa **FlatCam** el cual permite crear las rutas por el código G. Cabe señalar que existen otros programas para tal fin, como es el caso del software de edición vectorial INKSCAPE, Inkscape la herramienta de dibujo que utilizamos para gráficos vectoriales de libre acceso utiliza el formato SVG (Scalable Vectorial Graphics), también puede importar y exportar formatos como (JPG, PNG; etc.), pero éste es bastante tedioso, porque prácticamente se edita la imagen, es más diseño gráfico, pero igualmente funciona.

Procedimiento para la creación del archivo ngc.

1. Abriremos el programa FlatCam y damos click en la pestaña **archivo > abrir gerber**, luego buscamos el archivo (previamente generado con el programa de diseño de circuitos, ya sea Proteus, Kikad, entre otros), con el que vamos a trabajar.

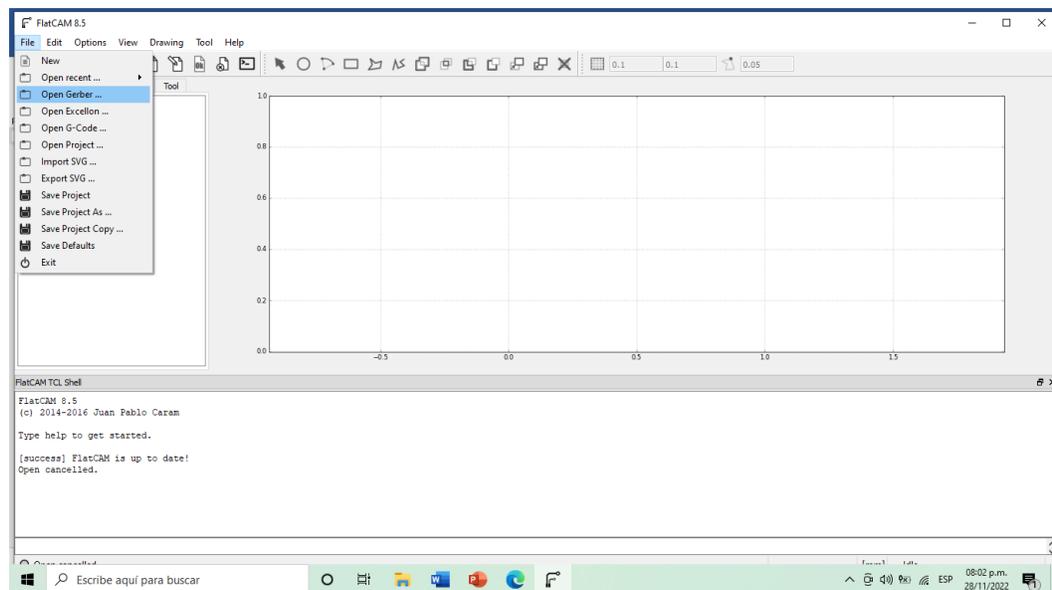


Figura 46: Carga del archivo Gerber.

Fuente: elaboración propia.

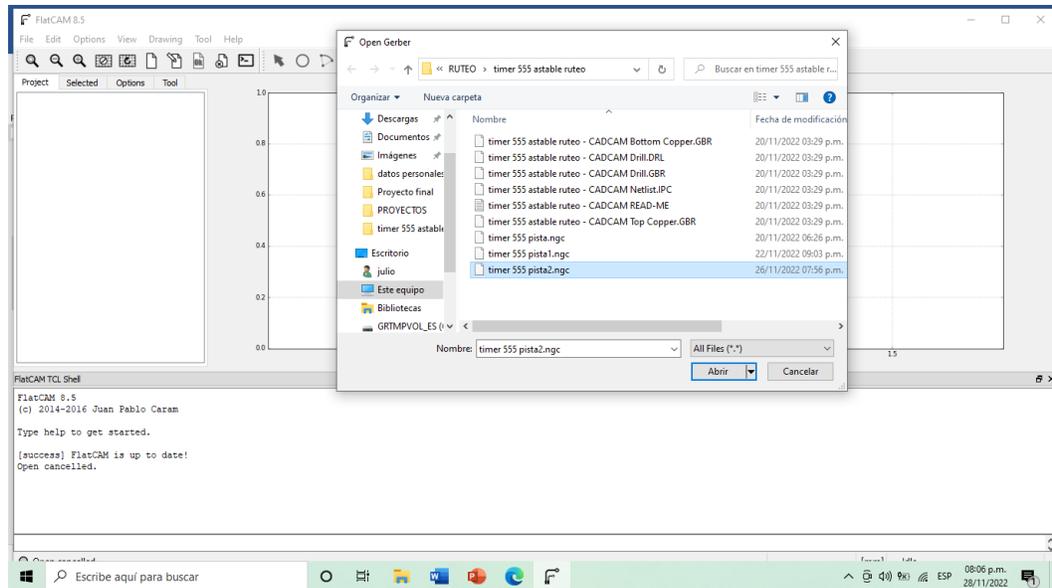


Figura 47: Carga del archivo Gerber.

Fuente: elaboración propia.

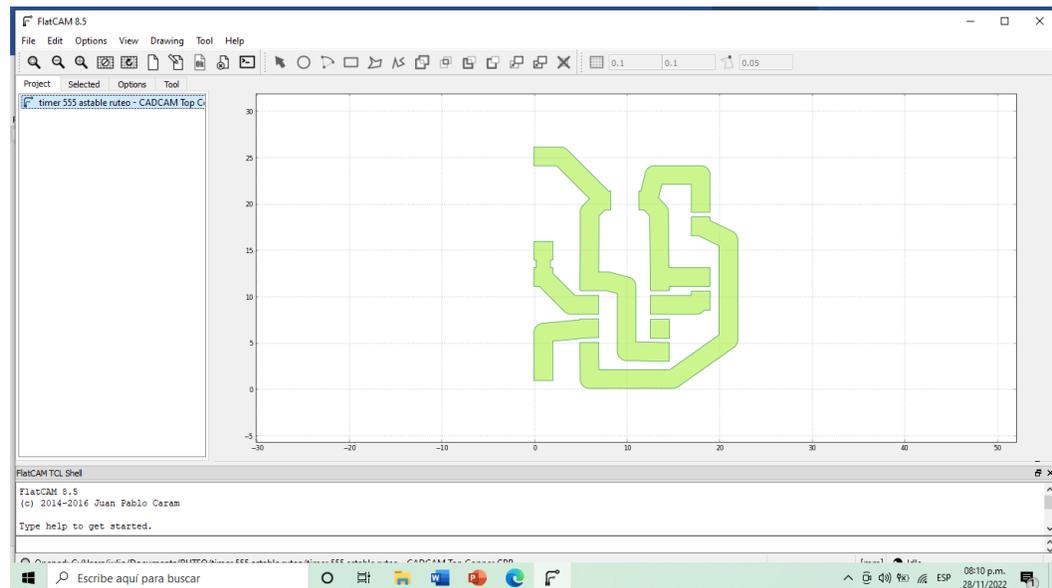


Figura 48: Vista de las pistas a rutear.

Fuente: elaboración propia.

- Una vez insertado el archivo nos dirigimos a la pestaña **proyecto**> damos doble click para abrir el archivo, el cual se abre en una pestaña **selected**>, en dicha pestaña bajamos hasta el final de dicha pestaña para alinear las pistas en el punto (0,0, 0,0), como se muestra en la *figura 48*. Para ello modificamos los parámetros de la opción Offset. Cabe recalcar que es más fácil definir el punto cero en el programa en el que se generó el circuito, en este caso proteus.

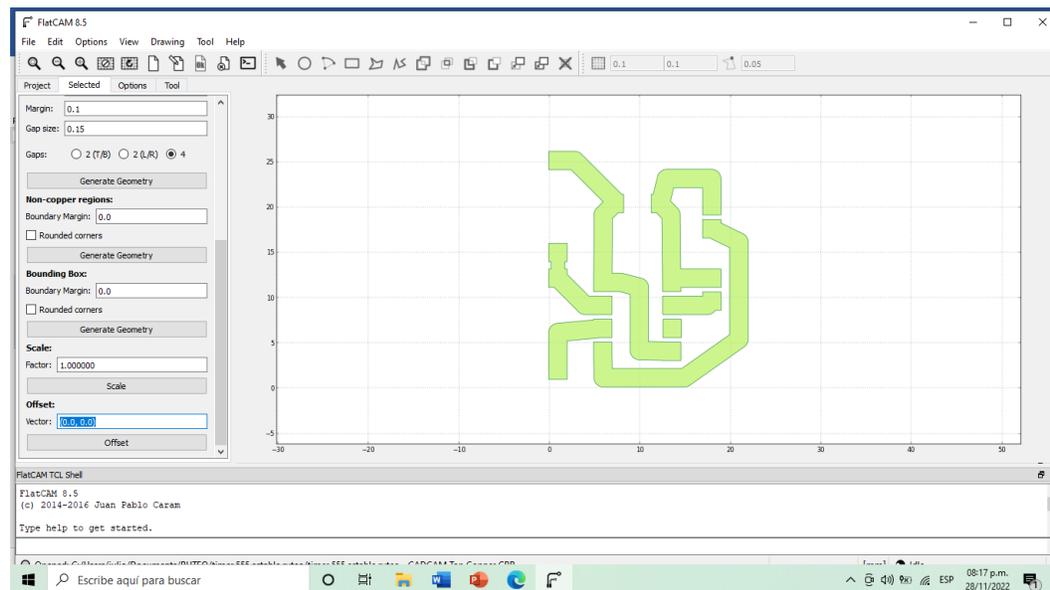


Figura 49: Ubicación en las coordenadas (0,0).

Fuente: elaboración propia.

- Una vez colocado en el lugar deseado comenzamos a indicarle al programa los parámetros que necesitamos.
- En esta misma pestaña de **selected**> configuraremos otros parámetros, para ello nos situamos al principio de la ventana, debemos de tener seleccionado las opciones de **plot** y **solid** en la opción **Isolation Routing**> (**Enrutamiento de Aislamiento**) seleccionamos el diámetro de la fresa a usar en este caso 0.1 mm.
- El siguiente parámetro, el número de pasadas, esto daría un mayor ancho del fresado, en nuestro caso 1 pasada.

6. La siguiente opción de **pass overlap** (superposición de pases) profundidad.
7. Damos click en Generar Geometría. Y se nos mostrará una silueta alrededor de nuestro gráfico indicando por donde hará el fresado la máquina.

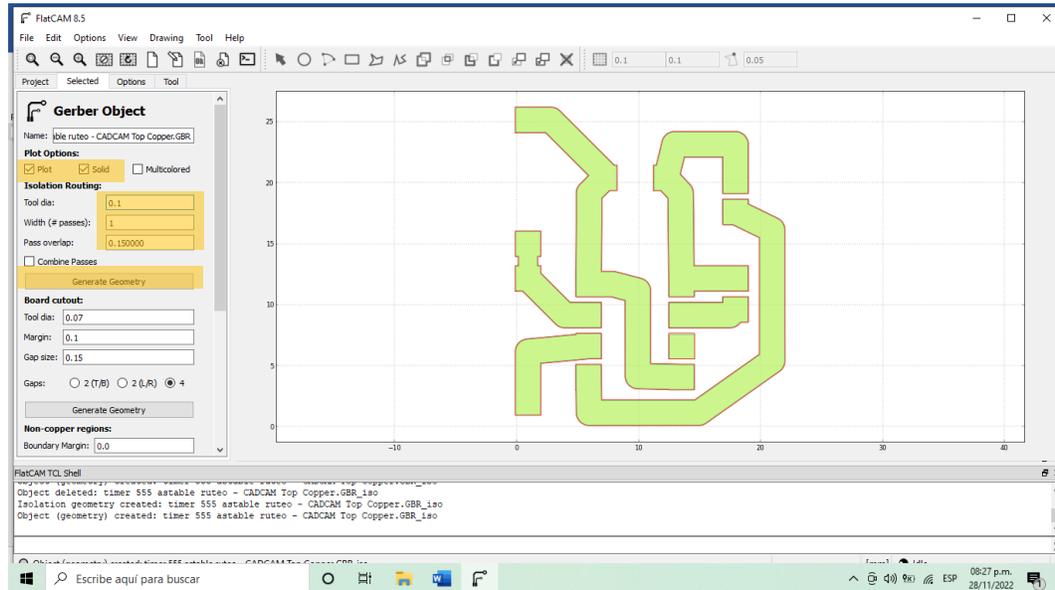


Figura 50: *Pistas con el ancho de corte, cantidad de pasadas.*

Fuente: Elaboración propia.

8. La opción **Board cutout** > Opción para el recorte de la tarjeta PCB, aquí se configuran los parámetros, diámetro de la fresa de corte, el margen de separación del circuito con el corte y el ancho de las solapas, aquí también se puede elegir cuantas solapas tendrá, 2 ó 4. Luego damos click en la opción generar geometría y ya quedaría para recortar a placa. Cabe recalcar que esta opción no la utilizaremos en esta ocasión, pero igualmente está disponible. De esta pestaña solo utilizaremos estos parámetros que configuramos.

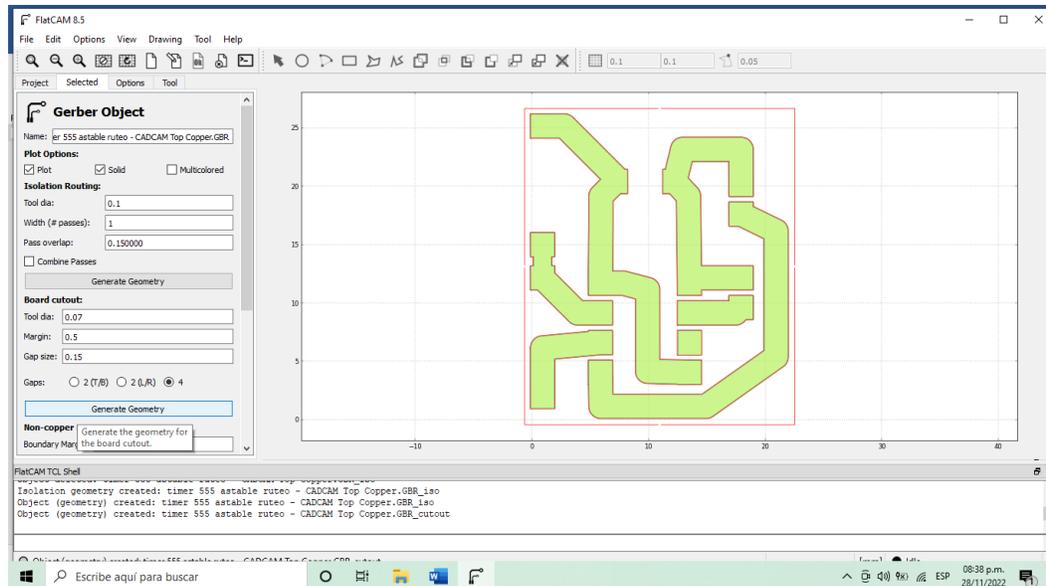


Figura 51: Generación de la geometría de las pistas.

Fuente: Elaboración propia.

9. Regresamos a la pestaña Project> y observaremos que se nos creó un nuevo archivo renombrado con terminación `_iso`.
- timer 555 astable ruteo - CAD/CAM Top Copper.GBR_cutout.**
10. Abrimos este nuevo archivo dando doble click sobre el mismo y se nos abrirá en la pestaña de **selected>**, la opción plot debe estar marcada y configuraremos los parámetros de la opción **create CNC Job>** aquí tenemos 4 parámetros, cut z, profundidad del fresado en nuestro caso pondremos -0.2 mm, Travel Z, esto es la altura a la que se moverá la fresa, feed rate: esta es la velocidad a la cual se moverá el carro de fresado, *tool día*: ese el diámetro de la fresa en nuestro caso 0.1 mm, en el caso de *Spindle speed*, velocidad del motor no aplica porque está controlado muralmente, lo demás queda por default.
11. Damos click en generarte, para general el ruteo del fresado.
12. Luego damos CLIC en el nuevo archivo que se generó con terminación `_iso`, en la pestaña **Project**.
13. Al seleccionarlo se abre en la pestaña **Selected** y damos click en exportar código G y lo guardamos en la carpeta seleccionada con

extensión. ngc, que es uno de los formatos que reconoce **Candle**, que es el software de g-code.

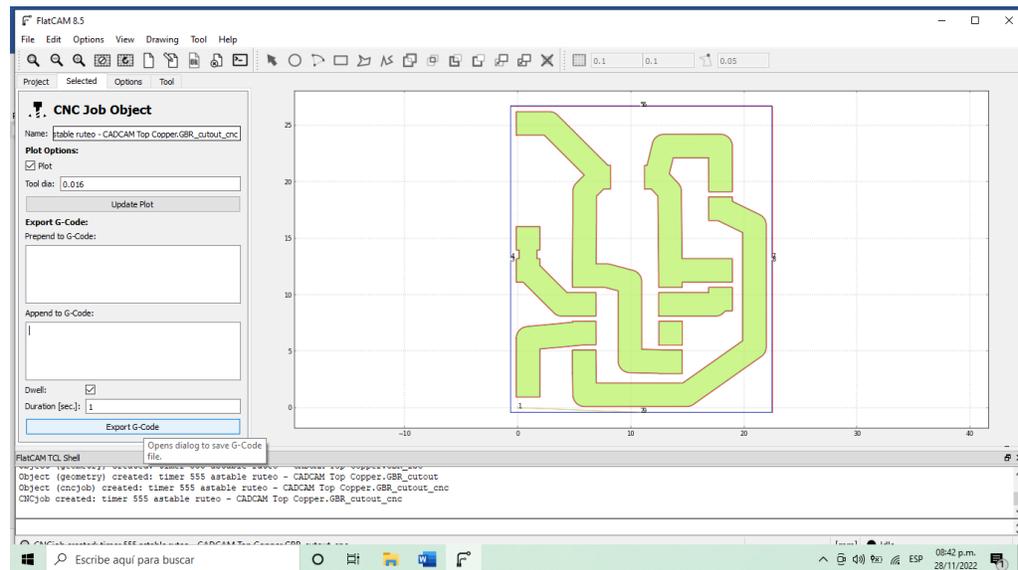


Figura 52: *Exportar el archivo G-CODE, listo para cortar.*

Fuente: *Elaboración propia.*

5.9.2 Funcionamiento de Candel.

Candel es el software, que nos permite manipular y configurar nuestra CNC, utilizaremos la figura x, para explicar cada uno de las partes del software.

Sección 1. Ingresamos en el menú **servicio>Opciones>** en la ventana que se despliega, damos click en conexión y configuramos el puerto (COM 1,2,3,4, etc) y los baudios en este caso 115200 para la conexión con nuestro Arduino, click en Ok.

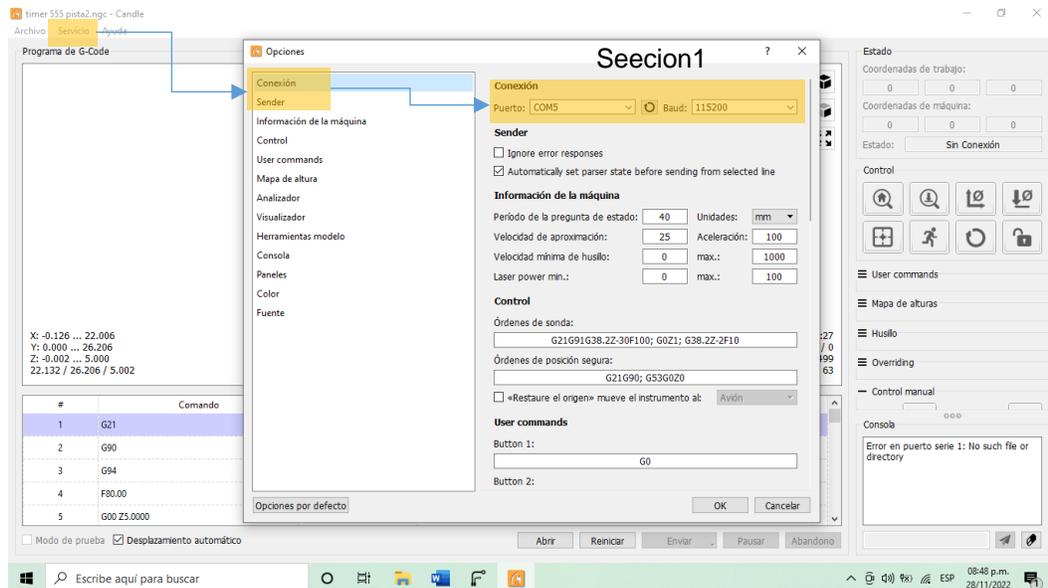


Figura 53: Configuración de puerto y baudios.

Fuente: Elaboración propia.

Sección 2. En la figura. 36 se muestra parte del control de la maquina en lo concerniente a la fijación del origen de corte y reseteo de las coordenadas. la velocidad de avance del usillo en cada eje, las medidas de paso en XY, este permite determinar el avance que tendrá cada eje por paso, entre mayor sean los pasos más rápido será el recorrido de los ejes XY. Además, podemos apreciar los botones con referencia X+, X-, Y+, Y-, Z+, Z-; cada uno de estos botones son los controles me mueven los ejes en sus respectivas direcciones.

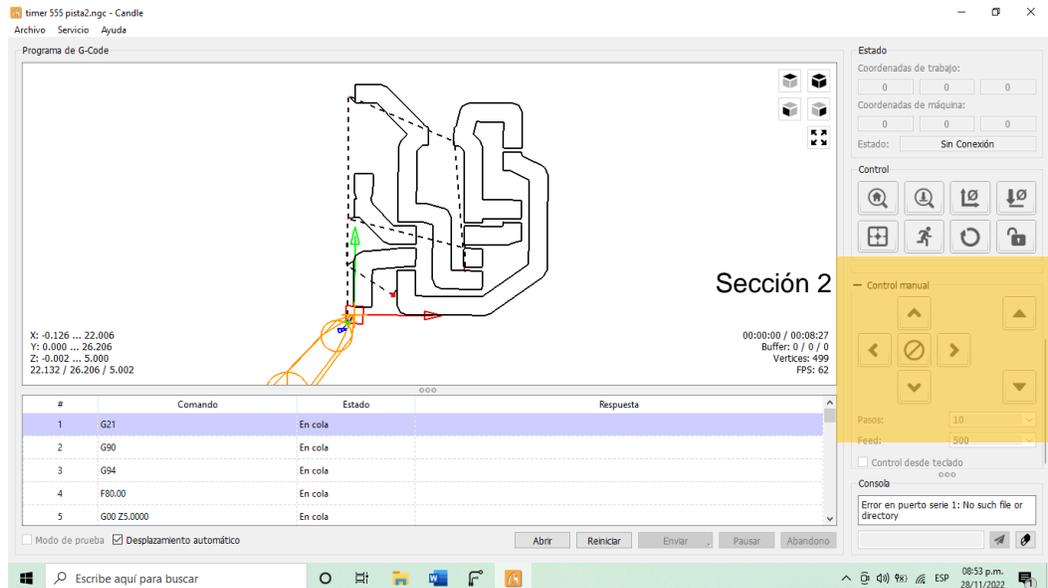


Figura 54: *Parámetros y direccionales de ubicación de corte.*

Fuente: *Elaboración propia.*

Sección 3. En esta sección tenemos la opción abrir que es donde seleccionamos la carpeta contenedora del archivo a rutear, aquí tenemos las opciones de enviar el archivo, en el cual la maquina comenzará el ruteo, también tenemos opción de pausar y abandonar (cancelar) el trabajo.

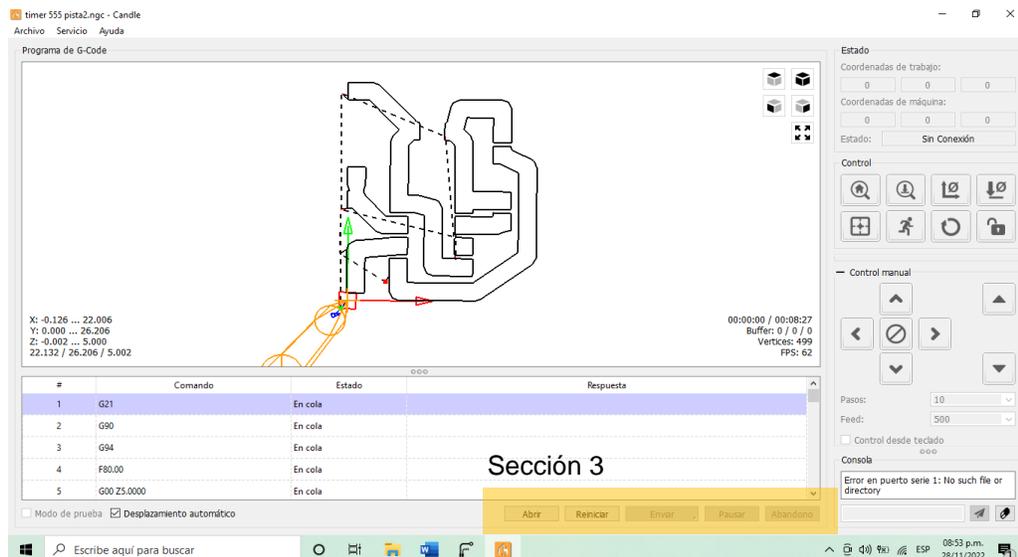


Figura 55: *Abrir, reiniciar, enviar.*

Fuente: *Elaboración propia. En esta imagen se puede apreciar los botones de abrir, reiniciar, enviar... un archivo para su ruteo.*

6. Conclusiones.

1. Se logro conocer y comprender cada uno de los componentes que forman parte de este proyecto, ya que era uno de los principales objetivos para poder introducirnos en la elaboración de un método de diseño adecuado para este proyecto.
2. Además, se logró diseñar una estructura que permitiera manejar y transportar fácilmente el CNCP.
3. Por otra parte, como un aspecto fundamental; no solo del proyecto, sino también de nuestra profesión; se logró elaborar un sistema electrónico lo suficientemente funcional, capaz de alimentar cada uno de los elementos del proyecto sin ningún inconveniente.
4. Una vez concluido nuestro proyecto, se procedido a realizar las respectivas pruebas del funcionamiento del CNCP, dando los siguientes resultados.
 - a. El tiempo de ruteo de una PCB de un circuito básico (Conózcase como básico, un circuito de un multivibrador aestable con un CI 555), es mucho más corto que el presentado en la elaboración de un PCB, por el método del planchado.
 - b. La calidad del PCB por medio del CNCP es mucho mayor que la vista por el método de planchado y el método del marcador.

De manera general, se pudo cumplir con cada uno de los objetivos propuestos en este proyecto.

7. Recomendaciones del proyecto.

1. Ventiladores para regular el aumento de temperatura de los motores de paso.
2. Colocación de maniguetas para el giro manual en cada uno de los ejes.
3. Colocación de terminales de carrera, si esto se considera necesario.
4. Se sugiere poder colocar un led en la parte inferior de la base, para resaltar las pistas a la hora de ejecutarse el corte de la PCB.
5. La base plegable donde se coloca la placa PCB, se elaboró de varias piezas debido a la falta de recursos; pero se recomienda elaborarla en una sola pieza, para que esta sea más robusta y firme.

8. Referencias

- [1] A. A. A. M. Jader Rubén Ruiz Guevara, Sistema semiautomático para la manufactura de placas de circuitos impresos (pcb), utilizando el método de serigrafía., Managua., 2017.
- [2] departamentofrigorificoherperides, «departamentofrigorificoherperides,» 28 05 2016. [En línea]. Available: <http://departamentofrigorificoherperides.blogspot.com/>. [Último acceso: 08 01 2023].
- [3] A. D. Sprunt, A THREE Axis CNC ROUTER DESIGN, MASSACHUSETTS, 2000.
- [4] A. L. Doody, Modernization, CNC Router, MASSACHUSETTS, 2007.
- [5] M. R. García, Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas, Cartagena, 2014.
- [6] R. R. C. Papa, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA FRESADORA CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS, San Carlos, Guatemala, 2015.
- [7] F. H. R. Francisco José García López, Metodología de diseño, cálculo y construcción de turbina Pelton de 0.1-1000 KW por máquinas CNC, Managua, 2013.

- [8] F. A. A. G. Carlos Romeo Guerrero Dinarte, "DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO, Managua, 2018.
- [9] Protoneer.co.nz, «Protoneer.co.nz,» 2022. [En línea]. Available: <https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield/>.
- [10] Bricogeek, «Bricogeek,» 2022. [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/>.
- [11] amazon, «amazon,» 13 04 2021. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/SainSmart-Genmitsu-3018-PROVer-20000RPM-equilibrio/dp/B092DDS745>. [Último acceso: 08 01 2023].
- [12] Solectro, «Solectro,» 2022. [En línea]. Available: <https://solectroshop.com/es/blog/como-funcionan-los-motores-pap-que-son-los-microsteps-n90>.
- [13] E. p. aplicada., «Electronica practica aplicada,» 4 julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sobre-mi>.
- [14] Techsaw, «Techsaw,» 29 09 2020. [En línea]. Available: <https://techsawco.com/how-to-make-775-motor-speed-pwm-controller-circuit/>. [Último acceso: 12 01 2023].
- [15] C. s. videockola, «Construya su videockola,» Desconocido Desconocido Desconocido. [En línea]. Available: <https://www.videorockola.com/tutoriales/fabricacion-de-circuitos-impresos-pcb-2/>. [Último acceso: 25 12 2022].

- [16] D. Solano, «Implementación de un control electrónico para una mesa CNC de corte por plasma.,» 2026.
- [17] P. Garcia, «Elprofegarcia,» 2015. [En línea]. Available: <http://elprofegarcia.com/>. [Último acceso: 25 12 2022].
- [18] D. J. B. Albert Malvino, Principios de Electronica., Madrid: McGRAW-HILL, 2007.

Anexos.

Softwares utilizados en el desarrollo del proyecto.



Figura 56: *Elaboración de diseño de estructura y planos.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 59: *Creación de código G.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 57: *Elaboración de circuitos y diagramas electrónicos*

Fuente: Elaboración propia.



Candle.

Figura 60: *Software de Corte y ejecución de CNC.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 58: *Elaboración de informe.*

Fuente: Elaboración propia.



Elaboración de archivo SVG.

. Fuente: Elaboración propia.

Imágenes del proceso de construcción y configuración del CNCP.



Figura 61: *Construcción de union de ejes.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 65: *Secado de piezas.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 62: *Construcción de soportes de base de eje Z.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 66: *Perforación de agujeros en piezas.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 63: *Corte de Lamina de aluminio para elaboración de piezas.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 67: *Armado de base en el eje X..*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 64: *Pintado de piezas.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 68: *Perforación de agujeros en piezas.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 69: *Fijado de ejes de acoples metalicos.*

Fuente: Elaboración propia.

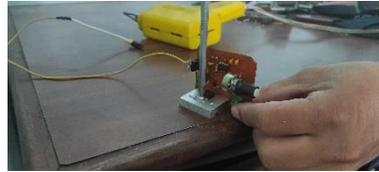


Figura 73: *Fijacion de circuito regulador de voltaje para motor DC.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 70: *Corte de piezas de fijacion de eje X y Z.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 74: *Fijado de piea de soporte de motor de paso en el eje Z.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 71: *Armado de caja para arduino.*

Fuente: Elaboración propia.



Figura 72: *Fijado de soporte de motor.*

Fuente: Elaboración propia



Figura 75: *Pintado de piezas del CNCP..*

Fuente: Elaboración propia.