



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE: GUAYAQUIL**

**CARRERA DE: MECATRÓNICA**

**DESARROLLO DE MÁQUINA CNC DE CORTE LÁSER  
CON MATERIALES DE BAJO COSTO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES:** Roberto Joel Caiminagua Iñiguez

Kevin Eduardo Guadalupe Coello

**TUTOR:** Ing. Ricardo Patricio Manzano Puente M.Sc

Guayaquil-Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Roberto Joel Caiminagua Iñiguez** con documento de identificación N° **0930531330** y **Kevin Eduardo Guadalupe Coello** con documento de identificación N° **0930795869**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 17 de mseptiembre del año 2022

Atentamente,



---

Roberto Joel Caiminagua Iñiguez  
0930531330



---

Kevin Eduardo Guadalupe Coello  
0930795869

**CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Roberto Joel Caiminagua Iñiguez** con documento de identificación N° **0930531330** y **Kevin Eduardo Guadalupe Coello** con documento de identificación N° **0930795869**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE MÁQUINA CNC DE CORTE LÁSER CON MATERIALES DE BAJO COSTO**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 17 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Roberto Joel Caiminagua Iñiguez  
0930531330



Kevin Eduardo Guadalupe Coello  
0930795869

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Ricardo Patricio Manzano Puente**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE MÁQUINA CNC DE CORTE LÁSER CON MATERIALES DE BAJO COSTO**, realizado por **Roberto Joel Caiminagua Iñiguez** con documento de identificación N° **0930531330** y por **Kevin Eduardo Guadalupe Coello** con documento de identificación N° **0930795869**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Ing. **Ricardo Patricio Manzano Puente**, M.Sc.

1803850187

## I. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

### *I-A. Dedicatoria*

La presente tesis va dirigida principalmente a Dios, ya que con la ayuda de él, hemos podido culminar nuestra carrera profesional, a nuestros familiares, los cuales nos han apoyado de forma incondicional en los momentos más duros de nuestras vidas, siendo así nuestros pilares fundamentales y por último a nuestros estimados docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, por habernos acompañado e instruido en este largo pero satisfactorio proceso de aprendizaje.

### *I-B. Agradecimiento*

Agradecemos a nuestros padres por ser los principales guías durante el proceso para nuestra formación profesional, por brindarme sabiduría y confianza para culminar con éxitos los objetivos propuestos. De igual manera agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, directivos y profesores que fueron un pilar fundamental durante el proceso de enseñanza y por brindarnos apoyo y los valores necesarios para desarrollarnos profesionalmente.

## II. RESUMEN

Actualmente el sector industrial requiere maquinaria que realice una producción en serie con precisión por lo que el hombre presenta dificultades para estar a la par con estas máquinas, por este motivo la implementación de máquinas automatizadas que fabriquen todo tipo de piezas y realicen multitud de procesos desde la materia prima ha tenido un gran impacto para la producción y calidad del producto final. Las máquinas de control numérico computarizado (CNC) son muy compatibles con respecto al sector en el que se instala ya que por ser máquinas programables su adaptación es rápida y fácil, incluso están integradas en el sistema educativo como herramientas de uso didáctico. La principal desventaja se presenta cuando llega el momento de adquirir una máquina CNC, al estar orientadas a la producción industrial su costo puede superar los \$10,000 dólares y en muchos casos no está incluido el costo de mantenimiento.

En base a la complicación por obtener una CNC el presente proyecto consiste en el desarrollo de una máquina CNC de grabado láser con materiales de bajo costo. En el proceso de diseño y ensamblaje se considerará la facilidad para construir esta máquina con materiales de fácil obtención y bajo costo, desde la implementación de microcontroladores, placas electrónicas programables, motores de paso y el software con el cual la máquina realizará el trabajo.

## III. ABSTRACT

Currently, the industrial sector requires machinery that performs mass production with precision, which is why it is difficult for man to keep up with these machines. For this reason, the implementation of automated machines that manufacture all kinds of parts and carry out a multitude of processes from the raw material has had a great impact on the production and quality of the final product. Computer numerical control machines (CNC) are highly compatible regarding the sector in which they are installed, since they are programmable machines and their adaptation is quick and easy. They are even integrated

into the educational system as tools for didactic use. The main disadvantage arises when the time comes to acquire a CNC machine, since they are oriented towards industrial production, their cost can exceed \$10,000 dollars and in many cases they are not available. including maintenance cost.

Based on the complication of obtaining a CNC, this project consists of the development of a CNC laser engraving machine with low-cost materials. In the design and assembly process, the facility to build this machine with easily obtainable and low-cost materials will be considered, from the implementation of microcontrollers, programmable electronic boards, stepper motors and the software with which the machine will perform the work.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>Dedicatoria y agradecimiento</b>	1
I-A.	Dedicatoria . . . . .	1
I-B.	Agradecimiento . . . . .	1
<b>II.</b>	<b>Resumen</b>	1
<b>III.</b>	<b>Abstract</b>	1
<b>IV.</b>	<b>Introducción</b>	8
<b>V.</b>	<b>Investigaciones anteriores</b>	8
<b>VI.</b>	<b>Problema de estudio</b>	9
<b>VII.</b>	<b>Objetivos</b>	10
VII-A.	Objetivo General . . . . .	10
VII-B.	Objetivos Específicos . . . . .	10
<b>VIII.</b>	<b>Justificación</b>	10
<b>IX.</b>	<b>Marco Teórico</b>	11
IX-A.	Control Numérico Por Computadora (CNC) . . . . .	11
IX-B.	Programación de máquinas CNC . . . . .	12
IX-C.	Reciclaje electrónico . . . . .	12
IX-D.	Robótica . . . . .	13
IX-E.	Manipulación Robótica . . . . .	13
IX-F.	Grados de Libertad . . . . .	14
IX-G.	Morfología . . . . .	14
IX-H.	Configuración Cartesiana . . . . .	14
IX-I.	Diseño y Manufactura Asistida por Computadora (CAD/CAM) . . . . .	15
IX-II.	Softwares de Diseño Asistido por Computadora (CAD) . . . . .	15
IX-J.	Arduino . . . . .	15
IX-K.	CNC Shield . . . . .	16
IX-L.	Software LaserGRBL . . . . .	17
IX-M.	MDSolids . . . . .	17
IX-N.	Vectorización de Imágenes . . . . .	18
IX-Ñ.	Transmisión de movimiento por bandas . . . . .	18
IX-Ñ1.	Tipos de bandas principales . . . . .	18
IX-O.	Transmisión de movimiento por cojinetes . . . . .	18

	IX-O1.	Clasificación de los cojinetes . . . . .	18
	IX-O2.	Partes de un cojinete . . . . .	19
IX-P.		Motor de paso . . . . .	20
	IX-P1.	Motor de paso Bipolar . . . . .	20
	IX-P2.	Motor de paso Nema 17 . . . . .	20
IX-Q.		Láser . . . . .	21
	IX-Q1.	Funcionamiento Del Láser . . . . .	22
	IX-Q2.	Tipos De Láser Para CNC . . . . .	22
	IX-Q3.	Marco Legal . . . . .	23
IX-R.		Sensor final de carrera . . . . .	23
IX-S.		Driver A4988 . . . . .	23
IX-T.		Esquema de pines A4988 . . . . .	24
IX-U.		Propiedades mecánicas de la madera . . . . .	26
	IX-U1.	Propiedades de Elasticidad . . . . .	26
	IX-U2.	Propiedades de Fuerza . . . . .	27
IX-V.		Materiales Para El Grabado . . . . .	27
<b>X.</b>	<b>Marco metodológico</b>		28
X-A.		Metodología . . . . .	28
X-B.		Alcance . . . . .	29
X-C.		Reciclaje Utilizado . . . . .	30
X-D.		Componentes identificados por reciclaje . . . . .	32
X-E.		Protección visual . . . . .	37
X-F.		Diseño en el eje Y . . . . .	37
X-G.		Diseño en el eje X . . . . .	40
X-H.		Cálculo de banda . . . . .	41
	X-H1.	Potencia Transmitida . . . . .	41
	X-H2.	Selección de correas . . . . .	42
X-I.		Criterio de selección de motores . . . . .	43
	X-I1.	Cuadro de Resultados . . . . .	44
X-J.		Descripción de la estructura de la máquina planteada . . . . .	44
X-K.		Materiales . . . . .	49
X-L.		Esquema de Conexiones . . . . .	50
X-M.		Esquema de Control . . . . .	51
X-N.		Programación Arduino . . . . .	51
X-Ñ.		Conexión de los componentes . . . . .	54
X-O.		Diagrama de Conexiones . . . . .	57
X-P.		Calibración de motores de paso . . . . .	57
X-Q.		Configuración Software LaserGRBL . . . . .	58
X-R.		Pruebas . . . . .	65



<b>XI. Resultados</b>	68
<b>XII. Presupuesto</b>	70
<b>XIII. Conclusiones</b>	71
<b>XIV. Recomendaciones</b>	71
<b>” References</b>	73
<b>XV. Planos del proyecto</b>	74

#### ÍNDICE DE FIGURAS

1. CNC Industrial . . . . .	12
2. Código G CNC . . . . .	12
3. Grados de Libertad de un brazo robótico . . . . .	14
4. Componentes de Arduino Uno . . . . .	16
5. Pines de Microstepping . . . . .	17
6. Partes de un rodamiento. . . . .	20
7. Motor Nema 17 . . . . .	21
8. Pines A4988 . . . . .	24
9. Caída de corriente para un cuarto de paso. . . . .	25
10. Tipos de madera óptimos para el grabado o corte con láser . . . . .	28
11. Procedimiento de fabricación . . . . .	29
12. DVD desmontado . . . . .	30
13. Motor de paso pequeño lector DVD . . . . .	31
14. Mecanismo de motor, eje y cremallera . . . . .	31
15. Mecanismo de banda y polea . . . . .	32
16. Mecanismo banda y polea . . . . .	33
17. Impresora HP en desuso . . . . .	34
18. Sensor Final de Carrera . . . . .	34
19. Ventilador disipador . . . . .	34
20. Eje de transmisión . . . . .	34
21. Motor de pasos NEMA . . . . .	35
22. Escáner Xerox en desuso . . . . .	35
23. Motor de pasos encontrado . . . . .	36
24. Escáneres en desuso . . . . .	36
25. Guías lineales . . . . .	37
26. Diagramas de fuerza cortante y Momento Flector . . . . .	38
27. Diagramas de fuerza cortante y momento flector en X . . . . .	41
28. Perfil Curvilíneo . . . . .	43

29.	Diseño de la máquina . . . . .	44
30.	Acoplamiento de motor, banda y polea . . . . .	46
31.	Motores montados sobre el eje X . . . . .	46
32.	Acoplamiento de motor, banda y polea en el eje Y . . . . .	47
33.	Carro con herramienta . . . . .	47
34.	Motor paso a paso bipolar . . . . .	49
35.	Módulo Láser . . . . .	49
36.	Sensor para establecer límites de movimiento . . . . .	49
37.	Guías usadas como rieles . . . . .	49
38.	Banda dentada . . . . .	49
39.	Polea dentada de 6mm . . . . .	49
40.	Polea dentada para eje en motores de paso . . . . .	49
41.	Pulsador de emergencia normalmente cerrado . . . . .	49
42.	Placa electrónica programable de código abierto . . . . .	50
43.	Placa para realizar el control de motores de paso usando Arduino . . . . .	50
44.	Fuente de alimentación del sistema a 12V . . . . .	50
45.	Materiales . . . . .	50
46.	Proceso de trabajo . . . . .	51
47.	Librería compilada en la placa . . . . .	52
48.	Acople Shield-Arduino . . . . .	54
49.	Conexión Drivers . . . . .	55
50.	Conexión Motor . . . . .	55
51.	Sensor Final de Carrera . . . . .	56
52.	Contacto NA . . . . .	56
53.	Diagrama de Conexiones . . . . .	57
54.	Controles de avance LaserGRBL . . . . .	58
55.	Descarga del software . . . . .	59
56.	Interfaz LaserGRBL . . . . .	59
57.	Mensaje conexión realizada . . . . .	60
58.	Acceso a configuración GRBL . . . . .	61
59.	Parámetros GRBL . . . . .	61
60.	Subida de Imagen . . . . .	63
61.	Configuración de grabado . . . . .	63
62.	Configuración Láser . . . . .	64
63.	Proceso de grabado en tiempo real . . . . .	65
64.	Prueba de grabado 1 . . . . .	65
65.	Prueba de grabado 2 . . . . .	66
66.	Prueba de grabado 3 . . . . .	66
67.	Prueba de grabado 4 . . . . .	67

68.	Prueba de grabado 5 . . . . .	67
69.	Resultado de grabado . . . . .	68
70.	Resultado de grabado 2 . . . . .	68
71.	Prueba de grabado 8 . . . . .	68
72.	Prueba de grabado 9 . . . . .	69
73.	Prueba de grabado 10 . . . . .	69
74.	Imagen tomada durante proceso de grabado . . . . .	70

#### ÍNDICE DE CUADROS

I.	CNC SHIELD especificaciones . . . . .	16
II.	Microstepping CNC SHIELD . . . . .	17
III.	Tipos de bandas. . . . .	19
IV.	Especificaciones NEMA17 . . . . .	21
V.	Especificaciones Técnicas A4988 . . . . .	24
VI.	Módulo de Elasticidad de la madera . . . . .	26
VII.	Parámetros Generales de la Máquina . . . . .	29
VIII.	Tabla comercial de ejes . . . . .	39
IX.	Factor de servicio K . . . . .	42
X.	Resumen de Cálculos . . . . .	44
XI.	Tabla de Componentes Electrónicos . . . . .	45
XII.	Tabla de Componentes Mecánicos . . . . .	45
XIII.	Presupuesto de la Máquina . . . . .	70

#### IV. INTRODUCCIÓN

La tecnología por control numérico apareció a mediados del siglo 20, alrededor del año 1952 en la fuerza aérea de Estados Unidos, sin embargo, no se había utilizado en el ámbito de producción de manufactura hasta el año 1960. La tecnología por control numérico ha representado una gran revolución sobre todo en los trabajos que incluyen la manipulación de metales. Existen diversas definiciones sobre el control numérico, sin embargo, se puede compilar dichos enunciados en uno solo, el cual define lo siguiente: “Es una operación de herramientas de máquinas la cual se ejecuta por medio de instrucciones específicamente codificadas del sistema de control de la máquina” [20].

A lo largo del tiempo la máquina CNC se ha visto en una constante evolución, debido a que los fabricantes se han visto en la necesidad de automatizar cada vez más los procesos de mecanizado, para obtener mejoras en la precisión y calidad de los productos; es por ello que han sustituido accionamientos los cuales antes eran manuales por motores y mecanismos automatizados, con el fin de agilizar los procesos [18].

Actualmente en la industria, se ve más frecuente el uso de procesos de mecanizado que requieren de máquinas de alta precisión y rapidez, por lo tanto, el uso de la CNC se ha incrementado, ya que se busca mejorar la calidad de la producción y acortar los tiempos que se llevan en realizar dicha acción. Una máquina CNC a diferencia de máquinas manuales como tornos o fresadoras, es controlada mediante una computadora la cual ejecuta los diferentes movimientos de los ejes mediante una lista de instrucciones previamente programada.

#### V. INVESTIGACIONES ANTERIORES

En Chiapas, México se hizo una investigación realizada por Hernán Valencia Sánchez, la cual consistía en la fabricación de una CNC para el grabado de placas electrónicas por medio de un láser. La investigación trata de solucionar la necesidad de diseñar placas electrónicas de manera más rápida y precisa, por lo cual se optó por la elaboración de una máquina CNC, capaz de realizar dicho proceso mediante un láser, el autor obtuvo buenos resultados, concluyendo que la máquina diseñada cumple con las necesidades solicitadas de buena manera [22].

Una segunda investigación se realizó en Lima, Perú. La cual buscaba la solución de usar una máquina CNC de corte láser con multipropósito, cuyo objetivo es fabricar una CNC capaz de adaptarse de mejor manera a diferentes aplicaciones que se le puede dar en una empresa con la finalidad de aumentar las producciones realizadas. El autor concluyó que es posible agilizar la producción de corte mediante la máquina CNC fabricada ya que su desempeño puede abarcar desde el grabado láser hasta el corte de

madera o acrílico [1].

Durante la revolución industrial, es decir, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, la industria comenzó a utilizar todo tipo de máquinas para mejorar los diferentes procesos de producción, lo cual significó un gran avance, a tal punto que, en la actualidad, las empresas requieren el uso de diferentes máquinas para producir efectivamente los diversos productos [23].

La necesidad de optimizar las producciones de materiales por parte de las industrias tuvo como consecuencia la fabricación de máquinas, las cuales puedan mejorar los procesos de una manera eficaz, uno de estos equipos especializados es la CNC, sus siglas en inglés significan Computerized Numerical Control o Control Numérico por Computadora, cuyo objetivo es mejorar la precisión y la rapidez de los cortes para la producción de diferentes diseños de piezas.

Según un artículo publicado por Hwacheon Asia Pacific, las máquinas CNC son herramientas de trabajo esenciales en el entorno de fabricación moderno. Las demandas sobre una mayor velocidad de producción son constantes, debido a que la industria moderna requiere una producción de mayor rapidez y calidad, no obstante, piezas que cambian con mayor complejidad y el enfoque en la calidad del producto exigen que sus CNC se mantengan en óptimas condiciones para cumplir diversos requisitos como la precisión, el acabado superficial o la tolerancia.

## VI. PROBLEMA DE ESTUDIO

Las CNC son diseñadas principalmente para el uso industrial, por consiguiente, al pasar de los años se emplean nuevas tecnologías con el fin de mejorar la calidad del producto, no obstante, al implementar más funciones en la máquina, su costo tiene un aumento significativo, de modo que dificulta su adquisición por parte de instituciones educativas o negocios.

La falta de demanda de máquinas a colegios, universidades o negocios puede resultar en la reducción de personal capacitado, a razón de que, al haber menos máquinas para uso educativo, menos personas podrán ser capacitadas de una manera efectiva, otro factor importante en la construcción de una máquina, es la mano de obra y los materiales con los cuales se fabrican, esto afecta de manera directa en el costo de ella, de modo que representa una gran inversión para las instituciones o negocios, los cuales cuentan con un bajo presupuesto, se ven desmotivadas a la compra de una y terminan optando en invertir en otro recurso.

El desinterés generado por la accesibilidad a estas máquinas no solo se da a instituciones, sino que también a personas que quieren aprender más sobre CNC y no tienen dinero para invertir en productos muy costosos, por lo que una máquina que puede ser construida por uno mismo y con materiales de bajo

presupuesto es una solución efectiva para que se vean inmersos en el mundo que arduino y CNC pueden ofrecerle.

## VII. OBJETIVOS

### VII-A. *Objetivo General*

Desarrollar una máquina CNC de grabado láser con materiales de bajo costo utilizando un sistema embebido para aplicaciones pedagógicas.

### VII-B. *Objetivos Específicos*

- Realizar una investigación bibliográfica para la identificación de componentes requeridos en la construcción de una máquina CNC.
- Identificar los equipos en desuso disponibles que permitan la reutilización de los componentes para la construcción del prototipo.
- Implementar el prototipo de la máquina basado en un diseño Mecatrónico previamente desarrollado.
- Evaluar el desempeño del prototipo mediante pruebas de funcionamiento.

## VIII. JUSTIFICACIÓN

La tecnología ha recibido un crecimiento exponencial en los últimos años, como consecuencia, el uso de máquinas CNC aumenta, y cada vez más incorpora nuevas funcionalidades con el fin de mejorar la precisión y eficacia en los cortes, por lo tanto, la demanda de máquinas se ha visto aumentada especialmente en el sector industrial y particular, por lo que tener una de bajo costo es conveniente.

El diseño y construcción de una CNC hecha por materiales no tan costosos, será viable para economizar los gastos que se presentan, ya sean a las diversas empresas o personas particulares, la necesidad de tener una máquina en aulas de clase y laboratorios ha aumentado, por lo que tener una de bajo costo es indispensable.

Las partes que se usan para este proyecto están disponibles con un precio asequible además de usar elementos reciclados esta máquina tiene un diseño simple y robusto. Para el diseño de la máquina CNC, se integrará el uso del microcontrolador Atmega 328, el cual está incorporado en Arduino y un software que a través de código g se comunicará con la máquina para que reciba instrucciones y realice su trabajo. La técnica de grabado que usará la CNC, es el enrutamiento por láser, el cual puede ser usado para el diseño de pcb, diseño de logos, etc. El análisis y registro de diferentes fabricantes de máquinas ayudará a entender porque una de estas máquinas de bajo costo sería de gran relevancia en situaciones de mediano

y corto plazo ya que no necesita de una gran cantidad de dinero para aplicarlas en el sector educativo o para uso personal.

Es por ello que la fabricación de una CNC con materiales de bajo costo, es beneficioso sobre todo a las instituciones como escuelas o colegios, ya que permite aumentar los conocimientos y experiencias de los estudiantes del área técnica.

Una de las ventajas más importantes viene al hablar de esfuerzo humano por lo que será poco el realizado, así mismo una máquina CNC controlada por Arduino será automatizada por lo que trabajará de forma rápida y eficaz. Esta máquina de control numérico busca solucionar problemas además de lo económico porque permitirá, en el caso de orientarlo a instituciones educativas, a que los estudiantes aprendan cómo funciona una CNC y cómo de sencillo es construir una usando Arduino y para ayudar a un crecimiento organizacional y empresarial, y se construye con el propósito de que la gente se interese en temas como la automatización y control de manera divertida mientras se aprende.

## IX. MARCO TEÓRICO

### *IX-A. Control Numérico Por Computadora (CNC)*

El control numérico por computadora es un sistema versátil, el cual permite al usuario controlar los movimientos de las herramientas y las piezas a través de datos numéricos. Su principal función es realizar operaciones de mecanizado mediante el uso de código G, el cual se comprende como un lenguaje de programación de puntos coordinados, utilizado en CNC para operar las herramientas en direcciones con respecto a los ejes, para conseguir un rápido movimiento, interpolación lineal, horaria, antihoraria, etc [17].

Un sistema CNC incorpora un dispositivo de máquina y territorios de instrumentos no mecánicos. Las máquinas CNC por lo general se utilizan para taladrar, procesamiento de máquina, trituración de unidades, trabajos con láser, máquina de torsión de tubos, etc, sin embargo, los procesos que no incluye una CNC consisten en soldar máquinas, colocación de cintas y máquinas de torsión de fibra para máquina de medición de dirección de compuestos y reunión electrónica.[17]



Figura 1. CNC Industrial

### IX-B. Programación de máquinas CNC

La programación de una CNC, representa el medio de comunicación entre la máquina y el operario, se pueden emplear dos tipos de programación:

- Programación manual: Es la cual, el operador realiza la operación de manera manual, es decir, directamente en la máquina de herramienta de control numérico. Una vez realizado el programa, se codifica en un cinta, para que las instrucciones puedan ser analizadas por la máquina.
- Programación asistida por la computadora: En esta programación, primero se diseña la pieza la cual se quiere mecanizar, por medio de softwares CAD, tales como: Autocad, SolidWorks, Inventor, Ansys, etc. Para luego, este diseño se pueda programar a través del lenguaje de CNC.

Estas formas mencionadas hacen uso de Código G el cual es el lenguaje de programación más usado para control numérico, principalmente usado en la automatización, además de formar parte de la ingeniería asistida por computadora.

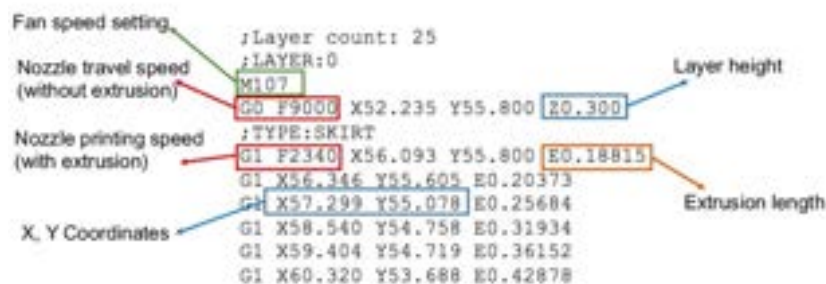


Figura 2. Código G CNC

### IX-C. Reciclaje electrónico



La producción de componentes electrónicos ha aumentado desde la fabricación de la primera computadora, el rápido incremento de las nuevas tecnologías hace que los productos electrónicos queden obsoletos, lo cual es preocupante debido a que a lo largo del tiempo se han ido acumulando como desechos mundiales. Aproximadamente la cantidad de desechos electrónicos generados en todo el mundo en 2014 fue 41.8 millones de toneladas métricas [4].

Los desechos electrónicos son definidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico como "cualquier dispositivo que utilice un suministro de energía eléctrica, que haya alcanzado el fin de su vida útil" [21], estos afectan al medio ambiente, debido a que la composición de los aparatos electrónicos es tóxica, por lo tanto requieren un tratamiento debido para salvaguardar la salud de las personas.

#### *IX-D. Robótica*

El origen de la robótica se remonta desde muy atrás en el tiempo pero su principal motor no apareció hasta el desarrollo de los microcontroladores, el cual cumple, la función de ser el cerebro de la máquina, en la década de los setenta, la aparición de los primeros robots industriales afectó de forma directa a las técnicas de automatización que están ligadas a la economía global [6].

El uso del robot industrial, al igual que los sistemas de diseño asistido por computadora y la manufactura asistida por computadora, da a entender una clara tendencia a los procesos de manufactura actuales, estas tecnologías permiten llevar a la automatización industrial a lugares nunca antes vistos [8].

#### *IX-E. Manipulación Robótica*

La manipulación robótica supone el movimiento de herramientas y piezas mediante un mecanismo, lo que implica el uso de un sistema de coordenadas para representar movimientos y direcciones considerando velocidades lineales y angulares, es decir que la cinemática del robot se encarga del estudio y análisis de los movimientos de este con respecto a un sistema de referencia. [13]

Así toda descripción de movimiento en un sistema de manipulación, hace referencia al sistema de coordenadas universales o a otros sistemas de coordenadas cartesianas que pueden relacionarse con el sistema universal. [12].

En la manipulación de los objetos son muy importantes dos características, las cuales son: la posición y la orientación en el espacio tridimensional, utilizamos sistemas de ejes coordenados para poder describirlos con respecto a otro sistema de ejes [8].

La cinemática de los manipuladores se refiere a las propiedades del movimiento con respecto a un tiempo, se puede clasificar de dos maneras:

- Cinemática Directa: Es el estudio geométrico de calcular la posición y orientación del efector final.
- Cinemática Inversa: Es el estudio geométrico el cual es inverso a la cinemática directa, lo cual significa, a partir de la posición final del efector, se puede encontrar cualquier punto de la trayectoria del manipulador.

### IX-F. Grados de Libertad

Según la norma ISO 8373, se define como grado de libertad a cada una de las variables (máximo seis) requeridas para definir el movimiento de un cuerpo en el espacio.[10]

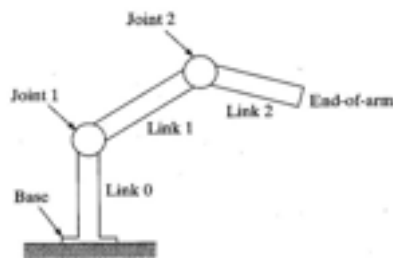


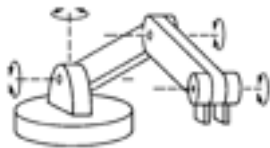
Figura 3. Grados de Libertad de un brazo robótico

### IX-G. Morfología

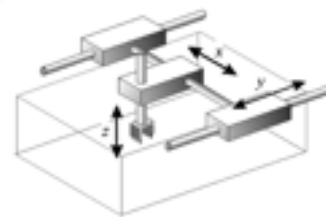
La estructura del robot se relaciona con la configuración mecánica en la que se definen los parámetros que determinan la posición y orientación del elemento terminal [8].

Según su configuración clásica, los robots se dividen en:

#### Angular



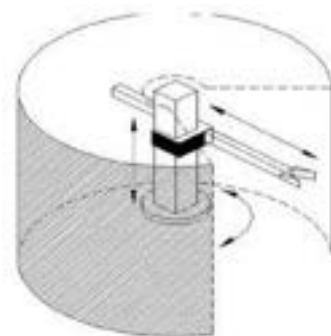
#### Cartesiano



#### Esférico



#### Cilíndrico



### IX-H. Configuración Cartesiana

En esta configuración, el robot describe movimientos en línea recta mediante articulaciones prismáticas a lo largo de un espacio de trabajo que presenta un volumen de trabajo con forma cúbica.

Esta configuración posee una estructura articulada la cual está formada por juntas y eslabones los cuales pueden desplazarse de manera horizontal, vertical y transversal, los robots cartesianos comúnmente tienen 3 grados de libertad, por lo cual están representados por los ejes XYZ.

#### *IX-I. Diseño y Manufactura Asistida por Computadora (CAD/CAM)*

Estos conceptos emergieron como uno solo en el año de 1950, actualmente involucra áreas como modelado de geometría, manufactura de sistemas flexibles, etc. [14]

La tecnología CAD tiene un gran impacto de aplicación en las industrias actuales, el impacto en áreas como: ingeniería automotriz, marina, aeroespacial, entre muchas otras. Ya que permite diseñar y modelar en 3D cualquier objeto geométrico posible, es por ello que tiene mucha importancia, por lo que al realizar un buen diseño, se pueden anticipar diversos errores que podrían ocurrir.

#### *IX-II. Softwares de Diseño Asistido por Computadora (CAD):*

- Solidworks: es un software de diseño CAD 3D, el cual se utiliza para realizar modelados de piezas y ensamblajes en 3D. El software brinda una serie de soluciones las cuales cubren los diferentes factores implicados en un proceso de desarrollo de un determinado producto.
- Autodesk Inventor: al igual que Solidworks, Inventor es un programa el cual proporciona herramientas profesionales de diseño mecánico en 3D, documentación y simulación. Trabaja mediante una combinación de diseño paramétrico y libre.

#### *IX-J. Arduino*

Arduino es una plataforma de código abierto especialmente empleada para la construcción y programación de dispositivos electrónicos [3], una de sus principales funciones es poder enviar y recibir información, incluso de manera inalámbrica ya sea por medio de internet u otras maneras, debido a ello, puede controlar dispositivos de manera específica, Está compuesta por una placa electrónica de distintos modelos, entre ellas están: Arduino Uno, Nano, Mega, etc.

Utiliza una programación basada en C++. Actualmente, la plataforma Arduino se utiliza mayoritariamente para la programación de microcontroladores entre otras cosas, su accesible interfaz le permite al usuario desarrollar proyectos de manera más cómoda y amigable.

Como se mencionó anteriormente, Arduino es una placa electrónica con un chip, el cual puede ser programado para realizar diferentes tareas, puede enviar información desde la computadora al microcontrolador para que ejecute las órdenes solicitadas incluso puede leer la información de dispositivos de entrada tales como: sensores, motores, antenas, potenciómetros, etc.



Figura 4. Componentes de Arduino Uno

#### IX-K. CNC Shield

Es un controlador de bajo costo compatible con Arduino y el software GRBL, también sirve como interprete de código G. Este controlador es principalmente usado para el control de maquinas CNC como impresoras 3D, Fresado, Grabado Láser, Máquinas de Corte o cualquier proyecto que se vea envuelto en el control de precisión a través de motores de paso.

Alimentación de 12-36V DC, soporta hasta 6 finales de carrera dos por cada eje X, Y y Z, soporte para cuatro ejes (X, Y, Z, A) y cuenta con tal pines de microstepping que son MS1, MS2 y MS3

ESPECIFICACIONES TECNICAS CNC SHIELD	
Voltaje de alimentación (potencia):	12V-36V DC
Compatibilidad Placas electronicas	Arduino UNO y Arduino Leonardo
Compatible con GRBL	Si
Conexión para final de carrera	2 por eje
Drivers	A4988 o DRV8825
Conexón para motor	4 pines
Microstepping	Si

Cuadro I  
CNC SHIELD ESPECIFICACIONES

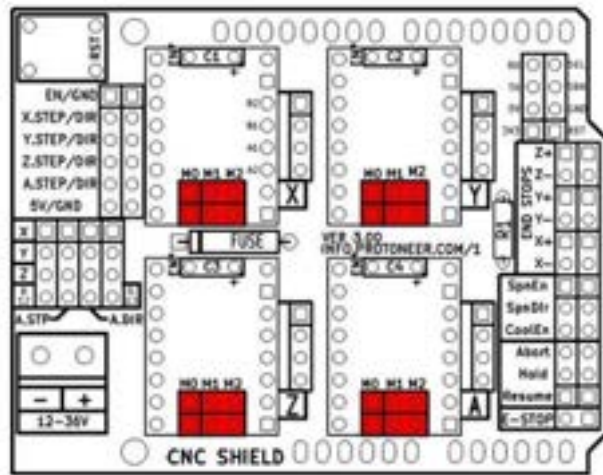


Figura 5. Pines de Microstepping

MS1	MS2	MS3	Resolution
LOW	LOW	LOW	Full Step
HIGH	LOW	LOW	Half Step
LOW	HIGH	LOW	Quarter Step
HIGH	HIGH	LOW	Eighth step
HIGH	HIGH	HIGH	Sixteenth Step

Cuadro II  
MICROSTEPPING CNC SHIELD

### IX-L. Software LaserGRBL

Es un software aplicado al grabado laser de imágenes, el cual está diseñado para comunicarse con la placa de control dependiendo del firmware de Arduino uno y GRBL. LaserGRBL es un transmisor de código G para grabador láser. La función es tomar los pixeles de una imagen y enviarlos a la placa para que lo pueda grabar, este método permite realizar grabados de toda la imagen pixel por pixel, por lo cual, es muy preciso a la hora de realizarlo en una superficie [11].

La última versión de laserGRBL viene con el "Modo láser" que está configurado específicamente para funcionar con la configuración de arduino que contiene unidades láser. LaserGRBL tiene una ejecución muy rápida en comparación con otros softwares de transmisión de código G.

### IX-M. MDSolids

Software dirigido a la mecánica de materiales, ayuda con el estudio y cálculos de la mecánica de sólidos deformables, usado también en el análisis de estructuras fijas o sujetas a cargas axiales y en el análisis de las propiedades de torsión y flexión.

## *IX-N. Vectorización de Imágenes*

La vectorización es una técnica de procesamiento de imágenes, la cual consiste en transformar los píxeles de una imagen en vectores, lo cual permite definir los contornos de la imagen de tal manera, que incluso si se cambiara el tamaño de la misma, su calidad no va a variar. Esta técnica se consigue mediante las curvas Bezier las cuales dibujan los contornos y los rellenos.

## *IX-Ñ. Transmisión de movimiento por bandas*

Los elementos flexibles como cadenas, bandas o cables se utilizan en sistemas de transporte de potencia a distancias largas, suelen reemplazar a elementos mucho más rígidos como ejes, engranajes, rodamientos, etc. Se opta por un sistema de transmisión por elementos flexibles, ya que pueden disminuir los costos y simplificar la operación [5].

Una de las principales funciones que cumplen los elementos flexibles, es absorber cargas de impacto, amortiguar y asilar efectos vibratorios, lo cual representa una ventaja para mantener la vida útil de la máquina.

### *IX-Ñ1. Tipos de bandas principales:*

Las bandas planas son empleadas con poleas abombadas, mientras que las bandas redondas y en V, utilizan poleas ranuradas y acanaladas [5].

Las ruedas dentadas y catarinas se emplean con bandas de sincronización, para todas las bandas, debe haber una distancia mínima entre los ejes de las poleas, la cual depende del tamaño y tipo de la banda.

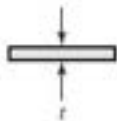

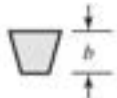
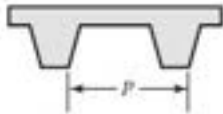
## *IX-O. Transmisión de movimiento por cojinetes*

Todo mecanismo el cual está sujeto a cargas, esfuerzos, fricción debe incorporar elementos los cuales ayuden a mejorar la transmisión de fuerza y movimiento, uno de estos se conoce como cojinetes o rodamientos. Su función principal es soportar las cargas radiales y de empuje, por lo tanto, cumple un rol fundamental en la eficacia del mecanismo [5].

### *IX-O1. Clasificación de los cojinetes:*

Existen varias formas de clasificar a los cojinetes o rodamientos, sin embargo se optó por clasificarlos según su contacto.

- Los de fricción o planos: Donde el eje está en contacto con directo con todo el cojinete.

Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Sí	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Sí	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

Cuadro III  
TIPOS DE BANDAS.

[5]

- Antifricción: Son aquellos que contienen elementos rodantes que se interponen con los elementos en movimiento, los cuales provocan menor fricción.

#### IX-O2. Partes de un cojinete:

Los cojinetes se componen de un anillo exterior, interior, separador y bolas. En muchas ocasiones para reducir costos, se omite el separador, lo cual tiene un efecto directamente proporcional en la calidad y eficiencia del rodamiento.

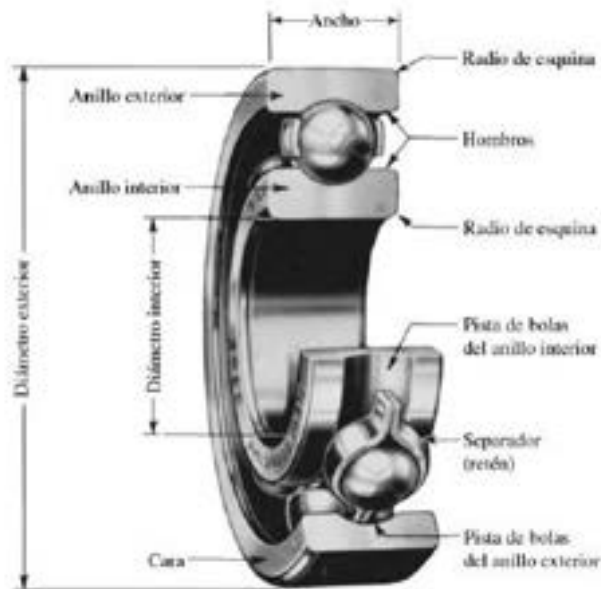


Figura 6. Partes de un rodamiento.

[5]

### IX-P. Motor de paso

Los motores de paso son empleados en varios mecanismos que requieran gran precisión, la principal cualidad de este tipo de motor es su movimiento, que se da a través de un microcontrolador de acuerdo a la secuencia que indique el usuario. Su paso puede ir de  $1.8^\circ$  a  $90^\circ$  lo que le permite moverse de un paso a una secuencia incontable de pasos según los pulsos que reciba.

Estos motores pueden quedar en un estado de enclavamiento en el que su posición depende de la corriente que energiza cada bobina, el estator está conformado por ellas, además del rotor que es un imán permanente, toda la conmutación debe ser controlada de manera externa por medio de un controlador.

Existen dos tipos de motores de paso, unipolar y bipolar:

**IX-P1. Motor de paso Bipolar:** Generalmente cuenta con cuatro cables de salida, estos motores tienen varios bobinados que, para producir un paso, deben ser alimentados mediante una secuencia adecuada.

Estos elementos se mueven a frecuencia de audio, su giro tiene una velocidad muy alta. Mediante el controlador TB6600, los motores realizan la marcha y paro en cualquier instante y posición.

**IX-P2. Motor de paso Nema 17:**

Es un motor bipolar, su ángulo de paso es de  $1.8^\circ$ , es decir, 200 pasos por vuelta, su capacidad de carga es de 3.7 kg-cm, cada bobina funciona a 1.2A a 4 V, su diámetro de eje es de 5mm y su longitud de 25 mm y cada bobina tiene de 3.3 ohmios.

Es ideal para máquinas de precisión como: impresoras 3D, CNC, cortadoras láser, etc.

NP = Número de pasos  $\alpha$  = Ángulo de paso



$$NP = \frac{360}{\alpha}$$

$$NP = \frac{360}{1,8}$$

$$NP = 200 \text{ pasos/rev}$$



Figura 7. Motor Nema 17  
Fuente: Autor

Model	Step Angle (°)	Body length (mm)	Phase Current (A)	Phase Resistance (Ohm)	Phase Inductance (mH)	Static moment (N.cm)	Positioning torque (N. cm)	Moment of inertia (g.cm <sup>2</sup> )	Pin count (No)	Motor Weight (g)
17HS 4218	1.8	60	1.8	22	4.9	65	2.8	102	4	490

Cuadro IV  
ESPECIFICACIONES NEMA17

Fuente: Hoja de datos del fabricante

### IX-Q. Láser

El término láser significa “Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación”, es sobre todo una fuente de luz la cual posee ciertas características que la diferencian de la luz obtenida por fuentes mayormente comunes y es por ello que la hacen una fuente de luz más útil y controlable. El láser es una onda de luz la cual es originada por medio de un amplificador en el cual prepondera la emisión estimulada sobre la absorción [2].

El haz de la luz que se forma en el láser se produce mediante un mecanismo físico en el cual se libera paquetes de energía en forma de fotón o luz, los cuales deben ser de la misma longitud de onda por lo que si se llegan a chocar entre sí, se produce un haz que tiene características como direccionalidad, frecuencia determinada, mayor potencia, etc.

#### *IX-Q1. Funcionamiento Del Láser:*

Para el funcionamiento de un láser es necesario conocer las condiciones para que ocurra, es por ello que se detalla los siguientes elementos:

- Un medio activo para amplificar la radiación, este material contiene átomos los cuales poseen una estructura de niveles de energía idónea para la ejecución de la radiación por láser.
- Una cavidad resonante en la que se ubica al medio activo con el fin de que la densidad de energía del campo electromagnético sea extensa y por lo tanto la emisión estimulada sea el proceso que prevalezca. Uno de los espejos debe tener una capacidad de reflejar la luz muy alta, mientras que el otro espejo permite la salida de la radiación.
- Se necesita una fuente de bombeo, ya que se realiza una restauración del equilibrio termodinámico gracias a los procesos de emisión de fotones. Es por ello que se requiere una fuente externa cuyo fin es alimentar de energía continuamente al medio activo para preservar una inversión de población.

#### *IX-Q2. Tipos De Láser Para CNC:*

Existen dos tipos de láser los cuales son los más utilizados para una máquina por control numérico. Estos son:

Láser CO<sub>2</sub> : Funciona mediante el intercambio de energía entre los bajos niveles de vibración rotacional de las moléculas del CO<sub>2</sub>. Las moléculas que se encuentran en un estado de energía alto son transferidas por un campo de radiación a un estado de energía vibratoria con un nivel de energía más bajo. La diferencia de energía de los estados más altos y bajos es convertida en radiación infrarroja. [24]

El CO<sub>2</sub> es una molécula linealmente simétrica con un eje simétrico a través de su núcleo y un plano perpendicular simétrico a este eje. La molécula solo tiene estos dos grados de libertad rotacional.

Es un láser el cual posee un haz de salida de menor potencia que los de CO<sub>2</sub>, sin embargo, al igual que este láser, es capaz de cortar y soldar metales. Por su baja potencia de salida, la velocidad de corte y el grosor de los materiales a cortar, suele estar limitada ya que la longitud de onda del láser es de aproximadamente de 1.06. Esto puede también traer beneficios ya que si se utilizan lentes de vidrio los cuales ayudan a focalizar el haz de luz en un punto, por lo que el haz de luz va a ser más intenso.

Se recomienda trabajar con metales que tienen un alto índice de reflectancia como el oro ya que, al disminuir la longitud de onda, la absorción de los metales aumenta.

### *IX-Q3. Marco Legal:*

Para el desarrollo del presente proyecto se consideraron las siguientes normativas:

- **ANSI Z136.1**- Uso seguro de Láser: Estándares de seguridad del uso de laser.
- **ANSI Z136.3** - Prácticas recomendadas de seguridad laser para evaluacion de riesgos.
- **ANSI Z136.5**- Uso seguro de laser en instituciones educativas.
- **UNE-ISO 230-2:2016**- Código de verificación de máquinas-herramienta. Parte 2: Determinación de la precisión y repetibilidad de posicionamiento de los ejes con control numérico.
- **ISO 841:2001**- Integración y sistemas de automatización industrial

### *IX-R. Sensor final de carrera*

También llamado sensor de contacto, son dispositivos electrónicos, neumáticos o mecánicos el cual es colocado al final del recorrido por el cual un componente realiza el movimiento. Cuentan con un actuador que esta conectado a un grupo de contactos de salida. Su principal funcion es activar o desactivar una conexión eléctrica cuando un objeto entra en contacto con dicho actuador.

### *IX-S. Driver A4988*

Es un controlador de microstepping para motores de paso , cuenta con un traductor integrado que facilita las operaciones de motores de paso bipolar, cuenta con 5 resoluciones de microstepping que son: paso completo, 1/2 , 1/4 , 1/8 y 1/16 de pasos. Tiene una capacidad de accionamiento de salida de hasta 35V y 2A.

Tiene un potenciómetro que le permite regular la corriente de salida ademas de poseer un protector sobre corriente trabaja con voltajes de alimentacion de 8V a 35V.

Para el funcionamiento del driver cuenta con dos entradas DIR para la dirección de giro y STEP para el paso del motor, el pin ENABLE debe estar conectado a tierra GND para que trabaje.

Especificaciones Técnicas Drivers A4988	
Voltaje de alimentación-potencia(VMOT)	8V-35V DC (recomendado 12V/24VDC)
Voltaje de alimentación-control(VDD)	3V-5V DC
Voltaje de control lógico	3.3V-5V DC
Corriente de salida	1A por bobina (máx. 2A con ventilación)
5 resoluciones de pasos	full-step, half-step, 1/4, 1/8 y 1/16
Salidas	Low RDS (ON)
Detección de caída de corriente automático	Si
Rectificación sincrona para una baja disipación de potencia	Si
UVLO Interno	Si
Protección de corriente-crossover	Si
Circuito de protección térmica interno	Si
Circuito de Falla de Tierra	Si
Protección de cortocircuito	Si
Pin-compatible con el Driver DRV8825	Si

Cuadro V  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS A4988

IX-T. Esquema de pines A4988

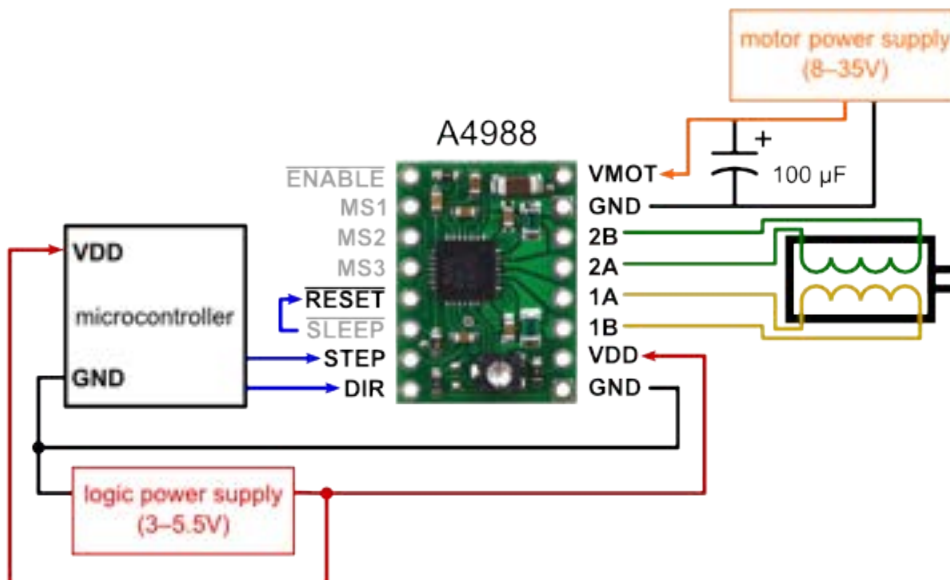


Figura 8. Pines A4988

Para el cálculo del voltaje de referencia se optó por un trabajo a paso completo por lo que la corriente usado para esta resolución será de un 70% se consideró esta resolución en pasos ya que para las otras resoluciones según el fabricante se registraron valores de caída de corriente que afectan el rendimiento de los motores.

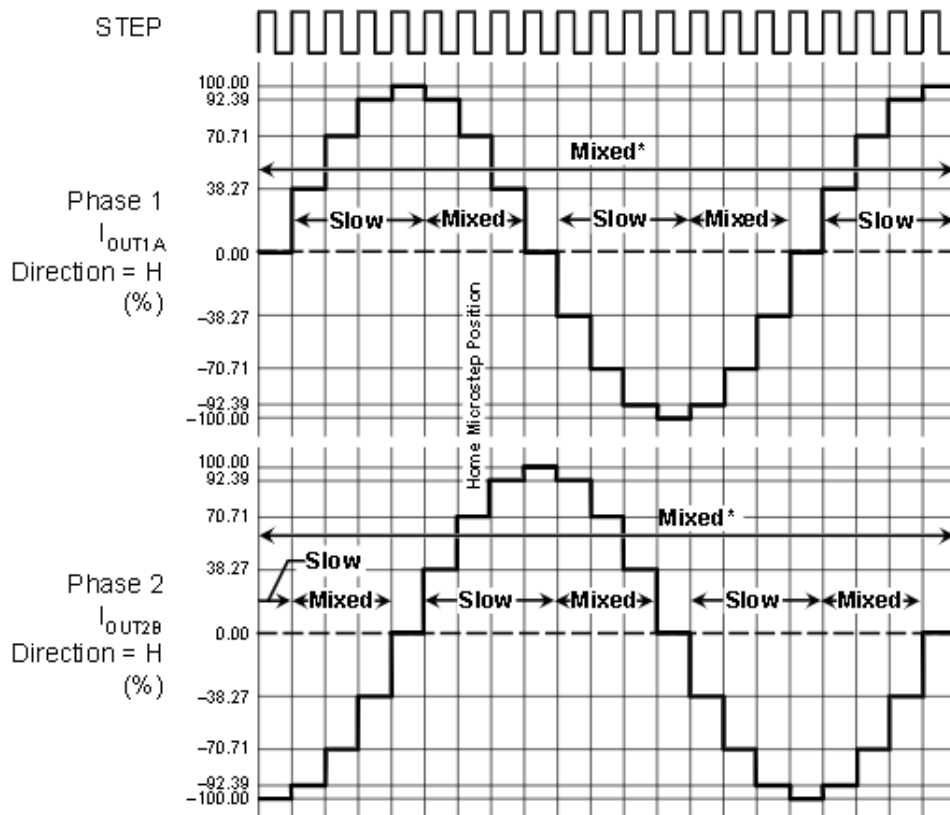


Figura 9. Caída de corriente para un cuarto de paso.  
Fuente: Hoja de datos del fabricante

Con respecto a la calibración del driver, este cuenta con un potenciómetro implementado el cual sirve como regulador para la entrada de voltaje, que se calcula con la siguiente fórmula descrita en la hoja de especificaciones del fabricante.

Este voltaje nos proporciona un valor aproximado para ajustar en el driver el voltaje que permitirá en la entrada, al final el voltaje será multiplicado por el 70% lo cual representa la corriente que se usa para el funcionamiento a paso completo

$$I_{MAX} = \frac{V_{REF}}{(8 \times R_S)}$$

$$V_{REF} = I_{MAX} \cdot (8 \times R_S)$$

$$V_{REF} = 1,8A \cdot (8 \times 0,1\Omega)$$

$$V_{REF} = 1,44V \times 0,7$$

$$V_{REF} = 1,008V$$
(1)

Este valor sera usado como voltaje de referencia el cual sera ajustado a un valor aproximado en el driver A4988

#### IX-U. Propiedades mecánicas de la madera

IX-U1. *Propiedades de Elasticidad:* Doce constantes son las que se necesitan, de las cuales nueve son independientes para describir el comportamiento elástico de la madera: tres módulos de elasticidad (E), tres módulos de rigidez (G) y seis relaciones de Poisson  $\mu$ . [9]

Los módulos de elasticidad y las relaciones de Poisson están relacionados por expresiones de la forma.

$$\frac{\mu_{ij}}{E_i} = \frac{\mu_{ij}}{E_j}, i \neq j \quad i, j = L, R, T$$
(2)

Existen relaciones entre la deformación y tensión de un material ortotrópico homogéneo, de las cuales se pueden encontrar en textos sobre la elasticidad. [9]

La elasticidad es una propiedad la cual implica que las deformaciones producidas por bajos esfuerzos, se puedan recuperar después de quitar las cargas. Cuando existen esfuerzos los cuales se cargan a niveles de estrés más altos, ocurre una deformación plástica o falla, lo cual conlleva a que el material no recupere su forma original.

Los tres módulos de elasticidad, que se denotan por EL, ER y ET, respectivamente, son los módulos elásticos a lo largo de la ejes longitudinales, radiales y tangenciales de la madera. Estos módulos generalmente se obtienen a partir de pruebas de compresión; sin embargo, los datos para ER y ET son extensos. A continuación se puede observar en el cuadro VI las propiedades mecánicas del plywood [9].

Physical Properties	Metric	English
Specific Gravity	0.400 - 0.600 g/cc	0.400 - 0.600 g/cc
Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength	27.8 - 34.5 MPa	4000 - 5000 psi
Modulus of Rupture	0.0403 - 0.0609 GPa	7.30 - 10.8 ksi
Flexural Modulus	8.20 - 16.3 GPa	1190 - 2400 ksi
Compressive Strength	31.8 - 41.4 MPa	4500 - 6000 psi
Shear Modulus	0.138 - 0.207 GPa	20.0 - 30.0 ksi
	0.586 - 0.758 GPa	85.0 - 110 ksi
Shear Strength	1.72 - 2.07 MPa	250 - 300 psi
	5.52 - 6.89 MPa	800 - 1000 psi

Cuadro VI  
MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MADERA

[9]

### *IX-U2. Propiedades de Fuerza:*

Las propiedades mecánicas más comúnmente medidas y representadas como "propiedades de resistencia" para el diseño incluyen el módulo de ruptura en flexión, tensión máxima en compresión paralela al grano, tensión de compresión perpendicular al grano y cortante resistencia paralela a la fibra. Se requieren mediciones para realizar evaluaciones a trabajo a carga máxima en flexión, impacto resistencia a la flexión, resistencia a la tracción perpendicular al grano, y dureza.[9]

- **Módulo de ruptura:** Propiedad la cual refleja la capacidad de carga máxima de un miembro en flexión y es proporcional al momento máximo soportado por el espécimen. El módulo de ruptura es un criterio aceptado de resistencia, aunque no es un verdadero estrés, ya que la fórmula por la cual se calcula es válida, sólo hasta cierto límite elástico.
- **Trabajo a carga máxima en flexión:** Es la capacidad que tienen los materiales de soportar choques con alguna deformación permanente provocando una herida a la especie, el trabajo a la carga máxima es la medida de la fuerza y tenacidad combinadas de la madera bajo esfuerzos de flexión.
- **Esfuerzo cortante :** Capacidad para resistir el deslizamiento interno de una parte sobre otra a lo largo de la fibra. Los valores presentados son resistencias promedio en planos de corte radial y tangencial.
- **Esfuerzo de fluencia :** Es la capacidad de un material de soportar un esfuerzo máximo, es decir, que más allá de ese límite, el material entra a una deformación plástica, por lo tanto, no podrá volver a su forma original

### *IX-V. Materiales Para El Grabado*

El material seleccionado para las pruebas fue la madera (MDF) y madera en distintos tipos de acabado como crudo, aglomerado y barnizado, sin embargo, se pueden realizar grabados en materiales como: papel, cuero, bambú, acero inoxidable, etc.

Es importante reconocer el tipo de corte que se va realizar, también afectar al material a utilizar, al ser una grabadora láser automatizada por Arduino y materiales de bajo costo la potencia del láser será baja comparada con una cortadora, por lo tanto, es poco probable que perfore el material.

Por eso se usarán materiales de bajo costo, reusables y fáciles de conseguir como los mencionados. El más apropiado y con mejores resultados fue la madera MDF que cuenta con una superficie de gran calidad por su estructura de fibra de alta densidad para un mejor detalle del grabado láser

## Tipos de madera



Figura 10. Tipos de madera óptimos para el grabado o corte con láser

## X. MARCO METODOLÓGICO

### X-A. Metodología

La fabricación de una máquina CNC de corte láser a partir de materiales reciclables destinada a instituciones particulares como: escuelas, colegios y negocios emergentes, implica el uso de una metodología de investigación científica, lo cual conlleva a obtener un conjunto de conocimientos tanto teóricos como prácticos, es por ello que se deben utilizar técnicas, las cuales permitan realizar pruebas de forma eficiente para poder lograr el objetivo planteado.

Previo a realizar la fabricación de una máquina de tales magnitudes, se realiza el diseño del prototipo en 3D, utilizando programas de diseño asistido por computadora (CAD), con el fin de poder reducir los errores en el desarrollo del proyecto.

Es por ello que para el desarrollo, se requirió realizar un debido procedimiento, el cual comprende múltiples etapas, cada una de las etapas desempeña un rol muy importante en la fabricación de la máquina, por consiguiente, cada una de las etapas depende de la otra, obteniendo como resultado una integración total. Estas etapas se ven referenciadas en la figura 11.



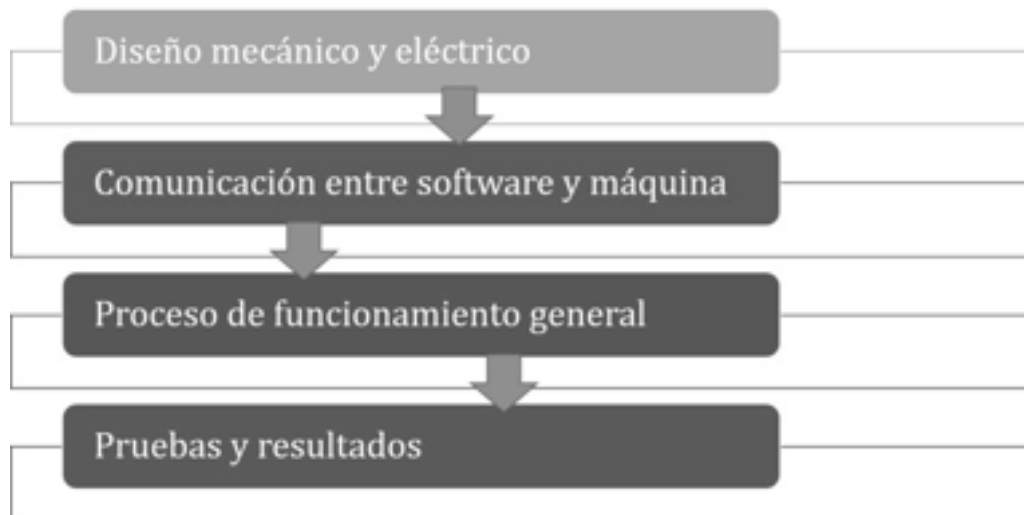


Figura 11. Procedimiento de fabricación

Fuente: Autor

### X-B. Alcance

El siguiente proyecto aborda el desarrollo de una máquina CNC de grabado láser identificando materiales reciclables y económicos que pueden ser implementados en el diseño final del prototipo además de contar con un diseño mecánico y eléctrico de fácil comprensión. Esta máquina realizará grabados en materiales de madera con un espesor menor a 15mm, el grabado se efectúa en un área de trabajo de dos dimensiones, adicionalmente la máquina opera mediante un software de código abierto y una placa electrónica Arduino.

Parámetros	
Ancho	430 mm
Largo	532 mm
Altura	225 mm
Espesor	12 mm
Espacio de Trabajo	380 × 297 mm
Alimentación	110V

Cuadro VII

PARÁMETROS GENERALES DE LA MÁQUINA

Se consideraron estas medidas, debido a que el enfoque del proyecto está dirigido a instituciones educativas y negocios emergentes, por lo cual, se tomó en cuenta un diseño ergonómico para facilitar el transporte y la ubicación de la máquina, de modo que, sus dimensiones permitan colocarla en cualquier sitio donde se la requiera, como por ejemplo laboratorios, talleres, aulas, etc.

#### *X-C. Reciclaje Utilizado*

Para este proyecto se revisaron impresoras, escáneres y lectores dvd utilizados, los cuales incorporan en su mecanismo de motores de paso y ejes, estos elementos representan muchas ventajas, ya que son los materiales de más importancia al momento de hablar de una máquina CNC, cabe recalcar que estos materiales reciclados carecen de precisión al compararla con componentes de grado industrial.

Al desmontar un lector DVD se puede encontrar un motor de paso y un eje, el cual puede ser usado como eje X o Y, por lo que se requiere dos lectores para tener dos ejes para que trabajen entre sí.

Hay que considerar que el tamaño del lector DVD no cumple con el objetivo del proyecto en cuanto al área de trabajo, sin embargo, el mecanismo que usa puede ser implementado para desarrollar una grabadora laser CNC con un espacio de trabajo mas pequeño pero funcional.



Figura 12. DVD desmontado

Fuente: Autor

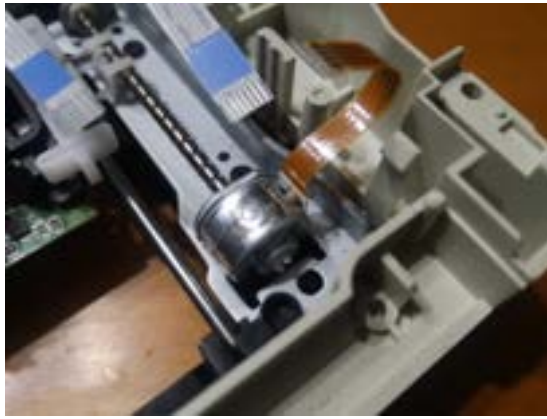


Figura 13. Motor de paso pequeño lector DVD

Fuente: Autor

La impresora con escáner está compuesto por un eje, el cual transporta el cartucho de tinta y en el caso del escáner un eje con cremallera y un motor.

De estos dispositivos reciclados se pueden retirar componentes funcionales tales como: motor de pasos, banda dentada con polea, eje con cremallera y motor, sin embargo, el trabajo que realizarían los componentes sería demasiado forzoso, ya que tienen que ejecutar el funcionamiento del mecanismo de movimiento de ejes con el peso de un módulo láser.



Figura 14. Mecanismo de motor, eje y cremallera

Fuente: Autor

Se revisó una impresora multifunción Canon MP250, en la cual se pudo identificar componentes como el mecanismo de banda dentada y polea, el cual transporta el cartucho de tinta y un sistema de motor y cremallera.

En la zona del escáner, el eje y la cremallera ocupan mucho espacio, además de ser una pieza rígida, por lo que se requerirá un trabajo adicional para extraer solo lo necesario, el material del cual están hechos los ejes, en este caso de plástico, no resistirían un uso prolongado, debido a los diferentes pesos de los elementos, provocando así un defecto mecánico .

Este eje resultó tener una longitud inferior comparado con el espacio de trabajo planteado, mencionado en el cuadro VII, sin embargo, se tomó como referencia el mecanismo del escáner visto en la figura 14 para diseñar el movimiento mediante un carro móvil.

Estas medidas son importantes, ya que si se desea generar la funcionalidad mencionada en la sección X-B, la longitud de los ejes deben coincidir con la planteada.

Para la estructura de la máquina se optó por utilizar madera de pino tipo plywood, la cual puede ser encontrada en tableros, mesas, escritorios, etc. Por lo tanto, permite una mayor facilidad de obtención e igualmente aporta rigidez a la misma. En este caso, se pudo reciclar de tableros y mesas, piezas sobrantes que iban a darse de baja, es decir, no iban a ser reutilizadas para futuros trabajos por lo tanto este material reciclado sirvió para la construcción de la estructura y para material base para el grabado.

#### *X-D. Componentes identificados por reciclaje*

Se encontraron varios componentes que se pueden implementar en la construcción de una máquina CNC.



Figura 15. Mecanismo de banda y polea

Fuente: Autor



Figura 16. Mecanismo banda y polea

Fuente: Autor

Para profundizar en el reciclaje electrónico, se solicitó el acceso a instituciones particulares, las cuales contenían múltiples equipos en desuso tales como: escáneres, impresoras y proyectores, lo cual conllevó a identificar los componentes que pueden ser implementados en la construcción de una máquina CNC, específicamente en equipos de impresión y escáner, donde se realiza una investigación a partir del desmontaje de los equipos proporcionados por las diferentes instituciones.

Se debe tomar en cuenta que las instituciones suelen estar sujetas a control de inventario, por lo que el estudio, solo permitirá identificar los componentes, esto puede representar una limitante ya que para la implementación de componentes funcionales encontrados en el estudio de reciclaje, habrá que recurrir a instituciones que vendan o donen estos dispositivos para poder extraer los componentes sin inconvenientes futuros.

Generalmente equipos electrónicos como estos son de simple ensamblaje, por lo que el proceso de armado y desarmado no será problemático si se usan las herramientas adecuadas, principalmente destornilladores.

Se desmontó una impresora HP modelo LaserJet Pro 400 y se identificaron componentes como bandas, sistemas de engranajes y poleas, sensores finales de carrera y ejes de mecanismos transmisión lineal.

Otro equipo al que se le realizó una inspección para identificar componentes fue un escáner Xerox modelo Documate 4440, en este modelo específico se encontró un motor de pasos bipolar NEMA 17, el cual sirve perfectamente para la transmisión lineal de los ejes.

Para poder identificar si un motor es a pasos, a diferencia de los motores DC, que también se encuentran en impresoras, los motores paso a paso cuentan con más cables, al tener dos bobinas o dos fases, este motor dispone de 4 cables o pines. También se puede medir la continuidad de cada bobina con la ayuda de un multímetro, conectando cada terminal a cada cable.



Figura 17. Impresora HP en desuso  
Fuente: Autor



Figura 18. Sensor Final de Carrera  
Fuente: Autor



Figura 19. Ventilador disipador  
Fuente: Autor



Figura 20. Eje de transmisión  
Fuente: Autor

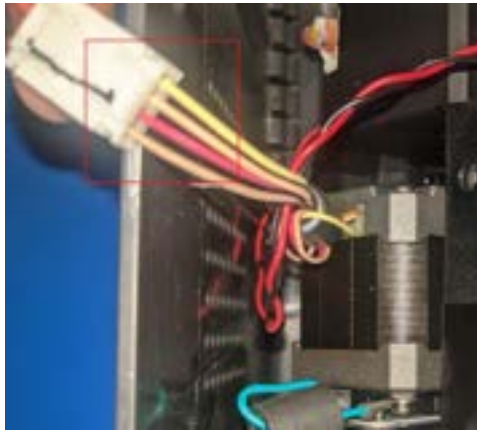


Figura 21. Motor de pasos NEMA  
Fuente: Autor



Figura 22. Escáner Xerox en desuso  
Fuente: Autor





Figura 23. Motor de pasos encontrado

Fuente: Autor

Al encontrar otro escáner del mismo modelo, se pudo extraer otro motor con las mismas características y así poder implementarlo en cada eje de movimiento de la máquina CNC, tener el mismo modelo de motor en cada eje proporciona ciertas ventajas al momento de calibrar la máquina.



Figura 24. Escáneres en desuso

Fuente: Autor

Para la obtención de las guías lineales, se contactó a una empresa especializada en la fabricación de máquinas CNC, con el fin de reciclar material no utilizado por ellos, la empresa utiliza ejes de aproximadamente de 1 m, sin embargo, existen sobrantes, los cuales se usaron para la construcción de la máquina.





Figura 25. Guías lineales

Fuente: Autor

#### *X-E. Protección visual*

Según la normativa UNE-EN 207:2018, la cual establece que las máquinas que contengan cierto tipo de láser, deben contar con equipo de protección individual de los ojos. Filtros y protectores de los ojos contra la radiación láser (gafas de protección láser). Es por ello que se decidió utilizar una barrera de protección visual hecha de acrílico, con el fin de poder reducir la intensidad de la luz emitida por el propio láser, lo cual conlleva a tener un mejor control en el proceso que se encuentra realizando la máquina.

#### *X-F. Diseño en el eje Y*

Las guías lineales cumplen la función de soportar y guiar a los rodamientos para que puedan desplazarse en el plano XY, para calcular el diámetro de las guías se usará un análisis de momento flector máximo, utilizando un programa de cálculo mecánico llamado MDSolids, el cual permite realizar este tipo de análisis con su respectiva gráfica.

Para el análisis se considerará a las guías lineales como vigas sujetadas, otros factores importante son los diferentes pesos: motores, láser, base del láser y la ubicación de dónde está cada elemento según el punto de apoyo.

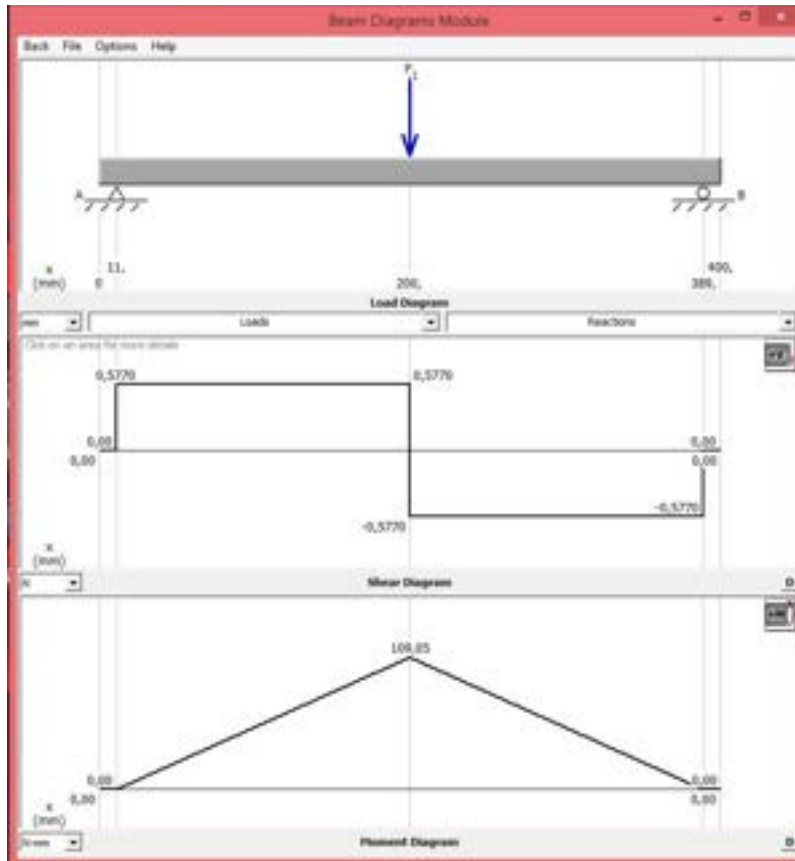


Figura 26. Diagramas de fuerza cortante y Momento Flector

Fuente: Autor

El momento flector máximo es de 100.05 N.mm, el factor de seguridad según [5], para transportes guiados, los cuales contengan cierta herramienta, el factor de seguridad debe ser:  $N_s = 2$ , es por ello que se considerará esta recomendación.

Para las guías lineales se recomienda que sean de un material anticorrosivo, es por ello que la mejor opción es que sean de acero inoxidable. Los aceros de las series 200 y 300 tienen una característica principal, la cual es su alta resistencia a la corrosión, pueden soportar temperaturas hasta 650 °C.

El AISI 304 es uno de los aceros inoxidables más utilizados debido a su fácil acceso, es por ello que se recomienda, utilizarlo como material de análisis, su esfuerzo de fluencia es de :  $S_y = 21 \frac{kgf}{mm^2}$ , llevado a Mega Pascales es de 206 MPa.

Para poder calcular el esfuerzo máximo permisible de la guía, se utilizará la ecuación obtenida de [5] la cual expresa:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{N_s} \quad (3)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3, se obtiene:

$$\sigma_{max} = \frac{206 MPa}{2} = 103 MPa$$

Por medio de la expresión obtenida de [16], el cual menciona que la flexión de una viga viene dado cuando el esfuerzo máximo permisible ocurre donde el eje Y tiene la magnitud máxima.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}Y}{I} \quad (4)$$

Dado que el eje es considerado una sección circular, su momento de inercia es:

$$I = \frac{\pi}{4}R^4 \quad (5)$$

Por lo tanto si se reemplaza la ecuación 5 en la ecuación 4, la expresión quedará de la siguiente forma:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}R}{\frac{\pi}{4}R^4} \quad (6)$$

Se despeja el radio de la sección transversal para así poder encontrar su diámetro.

$$R = \sqrt[3]{\frac{100,05Nmm}{\frac{\pi}{4} \times 103 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$R = 1,073mm$$

Es decir, que el diámetro mínimo que se puede seleccionar es de 2.14 mm, sin embargo, este diámetro no es muy comercial, ya que es muy pequeño, por lo tanto se recomienda un eje con mayor diámetro, en este caso el eje próximo comercial es de 6mm, según la tabla de diámetros comerciales obtenida de [7].

Tipo	Factor
Designación de la barra	Diámetro Nominal mm
6M	6.0
8M	8.0
10M	10.0
12M	12.0
16M	16.0
18M	18.0
20M	20.0
22M	22.0
25M	25.0
30M	30.0
32M	32.0

Cuadro VIII  
TABLA COMERCIAL DE EJES

[7]

Sin embargo, se utilizaron ejes de diámetro de 12 mm, ya que al ser una máquina con elementos

reciclados como la madera, implica que se deba generar mayor robustez, por lo tanto, se prefirió elegir ejes con este diámetro debido a que aportaba precisión.

Dicho esto si se utiliza la ecuación 6, reemplazando el radio por un eje de 12 mm de diámetro, el momento flector quedará resultando de la siguiente forma:

$$M_{max} = \frac{103 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1296 mm^4)}{6 mm}$$

$$M_{max} = 17473,538 N \cdot mm = 17,47 KN \cdot mm$$

#### *X-G. Diseño en el eje X*

Para calcular el diámetro en el eje X, se utilizará las ecuaciones vistas en el cálculo del eje Y, para ello se considerará la sumatoria de las masas de los objetos los cuales son: motores, rodamientos, base de madera, guía lineal del eje Y y módulo láser.

La sumatoria de las masas es:  $m_{total} = 1,08 Kg$ , por lo tanto la carga ejercida sobre el eje x es:

$$P_x = m_{total} \cdot g \tag{7}$$

$$P_x = 1,08 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 10,64 N$$

Utilizando el software MdSolids, se puede obtener el momento flector en el eje X.

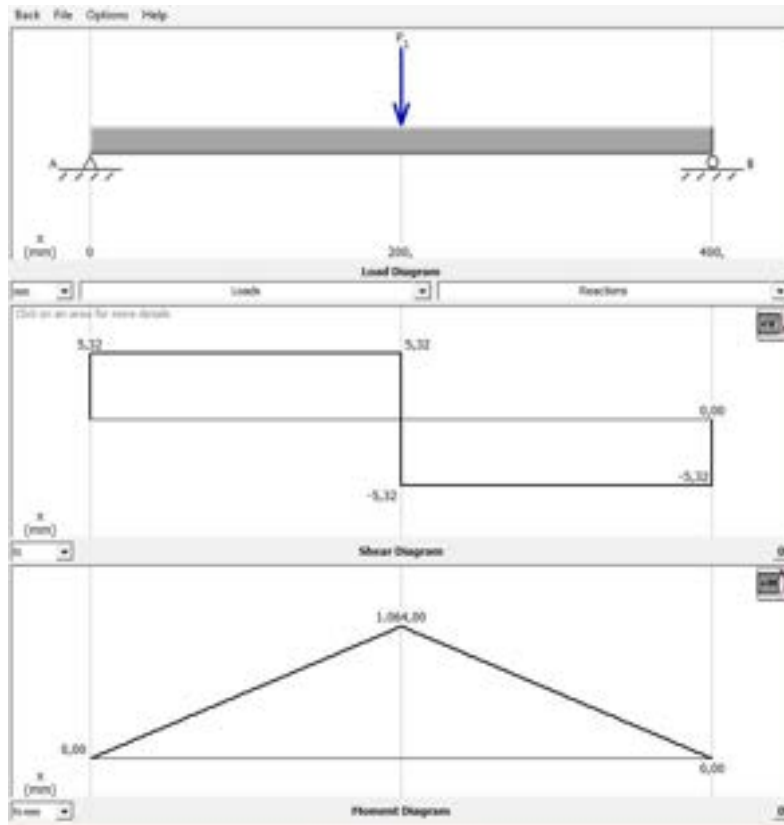


Figura 27. Diagramas de fuerza cortante y momento flector en X

Fuente: Autor

El momento flector para el eje x es de 1064 N.mm, se reemplazan los valores en la ecuación 6, para encontrar el diámetro mínimo del eje, quedando como resultado:

$$R = \sqrt[3]{\frac{1064 Nmm}{\frac{\pi}{4} \times 103 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$R = 2,36mm$$

Por lo tanto el diámetro mínimo es de 4.72, al igual con el eje Y, se recomienda utilizar un eje de 6mm, ya que son más comerciales y por lo tanto más accesibles.

#### X-H. Cálculo de banda

##### X-H1. Potencia Transmitida:

Para calcular la potencia transmitida se debe reconocer la potencia que desarrolla el motor conductor, para ello se sabe que el valor de la potencia se aplica de la siguiente fórmula. Donde :

$I =$  Corriente de cada fase del motor

$V =$  Voltaje nominal del motor

$$P_{motor} = I \cdot V \quad (8)$$

$$P_{motor} = 3A \cdot 16V$$

$$P_{motor} = 48W$$

Haciendo la conversión a KiloWatts:

$$P_{motor} = \frac{48W}{1000}$$

$$P_{motor} = 0,048KW$$

Por lo tanto la potencia transmitida se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$P_{transm} = P_{motor} \cdot K \quad (9)$$

Donde K es el factor de servicio de la potencia. Este factor de servicio según [15], el factor de servicio se lo puede obtener mediante la siguiente tabla:

MAQUINA CONDUCTORA	MAQUINA CONDUCTORA					
	Motor eléct. sincrónico, Motor de comb. interna, multicilindro, Turbinas			Motor eléctrico de alto pat, Motor de combustión interna monocilindro		
	8 h/día	16 h/día	24 h/día	8 h/día	16 h/día	24 h/día
Carga ligera: Agitadores de líquidos. Bombas y compresores centrífugos. Transportadores de banda. Ventiladores. Máquinas herramientas de corte continuo	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Carga normal: Bombas y compresores de 3 y más cilindros. Transportadores de cadena. Fresadoras.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Carga pesada: Bombas y compresores de uno y dos cilindros. Elevadores de canchales. Cepilladoras y mortajadoras	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Carga muy pesada: Mecanismos de elevación de grúas. Prensas. Cizallas.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Cuadro IX  
FACTOR DE SERVICIO K

El factor de servicio elegido es de 1, por lo tanto los valores se reemplazan en la ecuación 9, lo cual deja como resultado una potencia transmitida de 0.048 KW.

#### X-H2. Selección de correas:

Para la selección de correas dentadas de perfil curvilíneo HTD se basó en el siguiente gráfico propuesto:

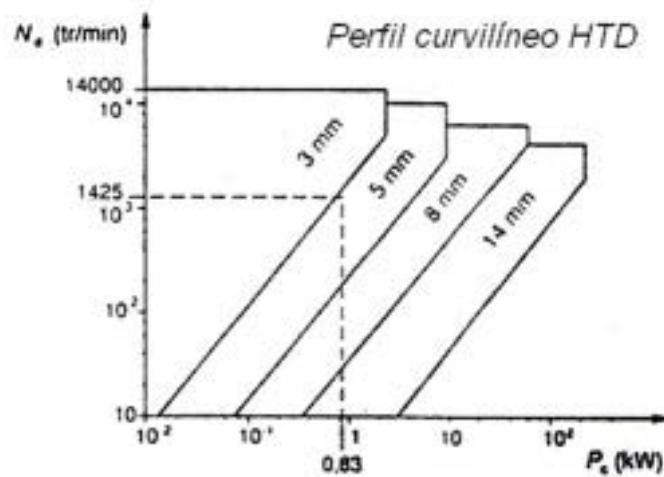


Figura 28. Perfil Curvilíneo

El cual es un gráfico de velocidad de la polea menor vs la potencia transmitida, según los datos obtenidos de la Potencia transmitida en la ecuación 9 y la velocidad del motor es de 600 rpm, el gráfico indica que debe usarse una banda de 3 mm de paso.

Las bandas dentadas de perfil circular, las cuales tienen un paso de 3 mm, son las bandas GT2, es por ello que se recomienda utilizar este tipo de bandas.

#### X-I. Criterio de selección de motores

Al momento de selección de motores, se debe enfocar en que cada motor cuente con un torque suficiente para poder realizar el trabajo necesario sobre el eje de transmisión de la máquina, encontrar el motor con un par motor adecuado es primordial para hacer funcionar la máquina, por el motivo de que el principal trabajo que esta realiza, es mover mediante un sistema de bandas y poleas la herramienta que realiza el grabado.

Generalmente al observar el funcionamiento de impresoras 3D o máquinas CNC es común notar que trabajan con un motor a paso bipolar, equipos como impresoras multifunción y escáneres cuentan específicamente con motores de paso bipolares NEMA 17.

Según la hoja de datos del fabricante se encontrarán características como tamaño del motor, número de pines, momento de inercia, etc, los datos en los que se debe prestar atención son:

- **El torque o par motor:** En la hoja de datos como "Holding Torque" o "Static Moment", se mide en  $N \cdot cm$  y representa la fuerza de giro que aplica el motor al realizar un trabajo. En el caso de los motores NEMA 17 se muestra en la tabla IV que el torque es  $65N \cdot cm$ . Este valor señala la fuerza con la que el motor se mantiene por cada paso que da
- **Corriente de fase:** Se muestra como "Phase Current" o "Max Current", medido en amperios (A), y representa la corriente máxima con la que trabaja cada bobina del motor. Según la tabla IV el valor de la corriente máxima es  $1,8A$

Según [19] para ejes de carga ligera como lo pueden ser extrusoras de filamentos, etc. Recomiendan utilizar motores cuyo par motor se debe encontrar desde 28 a 40  $N \cdot cm$ .

Para ejes de carga media, se recomiendan motores cuyo par motor o torque, excedan los 40  $N \cdot cm$ , por lo general son máquinas cuyo desplazamiento se ve afectado por elementos sujetos, tales como bases montadas, ejes verticales, extrusores con engranaje de reducción, etc.

La máquina CNC coincide perfectamente con estas características, por lo tanto, se usará motores a paso cuyo par motor sea mayor a 40  $N \cdot cm$ , por lo cual se optó por la selección del motor Nema 17, ya que su torque es de 65  $N \cdot cm$ , por lo tanto, al ser la CNC una máquina de precisión, se requiere un torque suficiente para el movimiento correcto entre sus ejes.

Cálculos	
Momento Flector máximo eje X	100,05 $Nmm$
Momento Flector máximo eje Y	17,47 $KNmm$
Radio mínimo eje Y	2 $mm$
Radio mínimo eje X	4 $mm$
Potencia en W	75 $mm$
Corriente por cada motor	1,8A
Corriente recomendada para máquina	5A

Cuadro X  
RESUMEN DE CÁLCULOS

#### X-II. Cuadro de Resultados:

#### X-J. Descripción de la estructura de la máquina planteada

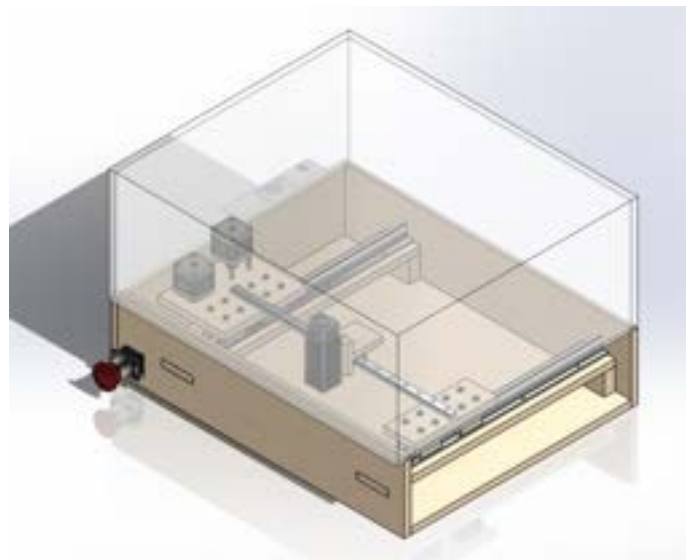


Figura 29. Diseño de la máquina

Fuente: Autor



Para la fabricación de la máquina CNC, se partió de un diseño previo modelado en SolidWorks, el cual comprende de los siguientes elementos:

Componentes Electrónicos	Cant
Motores a pasos	2
Módulo Láser	1
Placa Arduino	1
Fuente Conmutada Regulable 12V 5A	1
CNC Shield	1
Sensores Finales de Carrera	2
Paro De Emergencia	1
Driver A4988	2

Cuadro XI  
TABLA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Componentes Mecánicos	Cant
Guías Lineales	3
Rodamientos Lineales	5
Banda Dentada	2
Polea Dentada	2

Cuadro XII  
TABLA DE COMPONENTES MECÁNICOS

Tomando de referencia los movimientos de un robot cartesiano, se implementó un sistema de transmisión de movimiento de dos ejes, los cuales trabajan con sus respectivos motores, encontrados a través de reciclaje en escáneres como se observa en la figura 22 y 23. Para el movimiento en el eje X se consideró el uso de dos guías lineales, ya que proporcionan mayor estabilidad y representan menor esfuerzo al transmitir movimiento, estas se encuentran separadas a  $297\text{ mm}$ , para que el área de trabajo tenga como referencia una hoja de tamaño A4. Estas guías están soportadas por una base de madera que encaja con la pared de cada lado

El movimiento se realiza mediante el acoplamiento de un motor con una polea en el eje y el templador de banda como se muestra en la siguiente figura.



Figura 30. Acoplamiento de motor, banda y polea

Fuente: Autor

Para la localización de los motores, se consideró la distancia de los mismos con la placa Arduino, para evitar interferencias durante la operación de mecanizado. Es por ello que se decidió ubicarlos en la base superior del eje X, los motores utilizados se pueden observar en la imagen 23



Figura 31. Motores montados sobre el eje X

Fuente: Autor

Por otra parte el movimiento en el eje Y, se compone principalmente por una guía lineal, la cual se encuentra de manera perpendicular a las guías en el eje X, de igual manera, el sistema de movimiento es similar al movimiento en X. En este eje se implementó un mecanismo de banda y polea obtenido de una impresora como se observa en la figura 16.

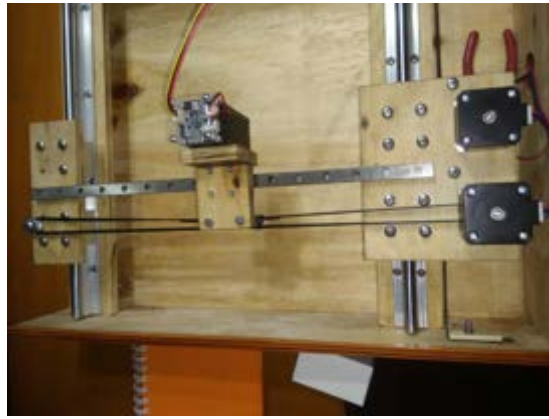


Figura 32. Acoplamiento de motor, banda y polea en el eje Y

Fuente: Autor

En el eje Z, se colocó la herramienta de grabado sobre un carro fijo, por medio de este, se moverá en los respectivos ejes tanto como el X y Y, para el movimiento del carro que transporta la herramienta, se implementó un templador de banda, la cual se encuentra sujeta con pernos a lo largo del eje Y.

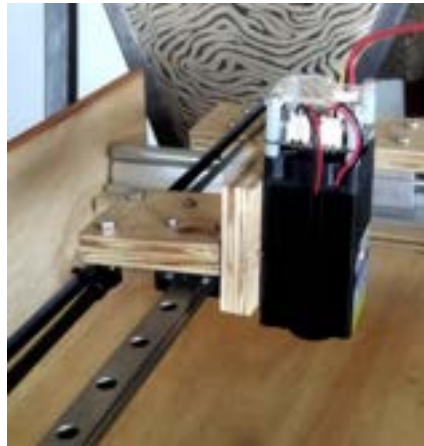
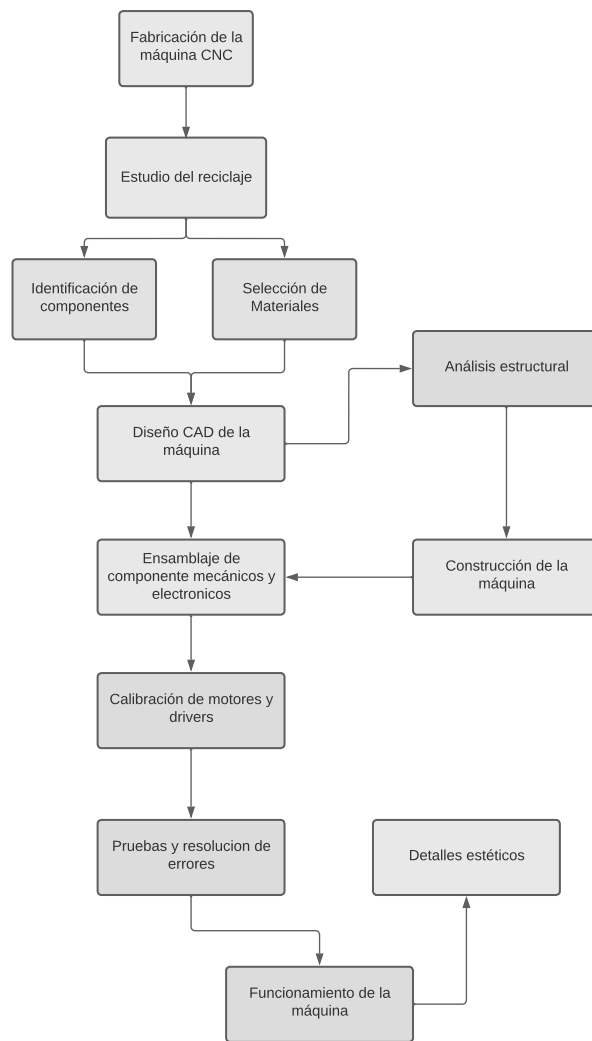


Figura 33. Carro con herramienta

Fuente: Autor

A continuación se observa el diagrama de flujo de construcción de la máquina.



*X-K. Materiales*

**Motor de Paso de 12V Reciclado de Impresora**



Figura 34. Motor paso a paso bipolar

**Módulo láser 450nm 20W**



Figura 35. Módulo Láser

**Microswitch sensor final de carrera**



Figura 36. Sensor para establecer límites de movimiento

**Rodamiento Lineal y Bloque Deslizante**



Figura 37. Guías usadas como rieles

**Banda Dentada GT2 de 6mm**



Figura 38. Banda dentada

**Polea GT2 para banda dentada**



Figura 39. Polea dentada de 6mm

**Polea GT2 20 dientes 5mm**



Figura 40. Polea dentada para eje en motores de paso

**Botón de Paro de Emergencia**



Figura 41. Pulsador de emergencia normalmente cerrado

### Arduino UNO



### CNC Shield



Figura 42. Placa electrónica programable de código abierto

Figura 43. Placa para realizar el control de motores de paso usando Arduino

### Fuente de alimentación de 12V/24V



Figura 44. Fuente de alimentación del sistema a 12V

### X-L. Esquema de Conexiones

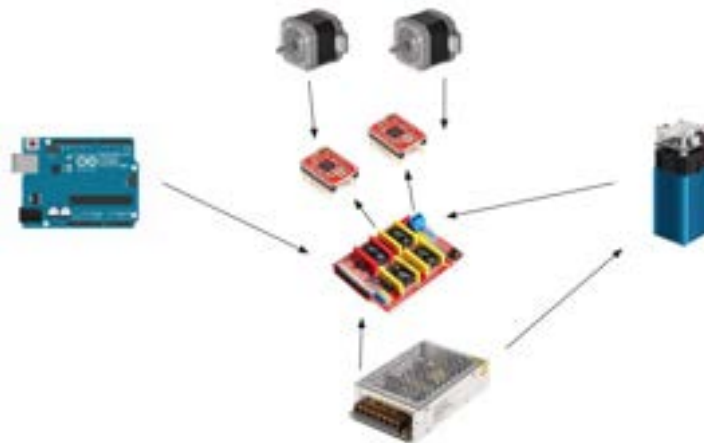


Figura 45. Materiales  
Fuente: Autor

De acuerdo al diagrama mostrado para el funcionamiento de la máquina se requiere principalmente la placa electrónica Arduino en el cual estará conectado al controlador CNC Shield junto con dos microcontroladores AR4988, los cuales se encargarán de dirigir un motor de pasos cada uno, así mismo al CNC Shield estará conectado al módulo láser. Cabe recalcar que el modo de alimentación es de 5V para el Arduino que funciona con un cable conectado a un puerto USB directo a la computadora y para el módulo láser y los motores de paso una fuente conmutada de 12V/5A.

#### X-M. Esquema de Control



Figura 46. Proceso de trabajo

Para el funcionamiento del prototipo se usó la librería LaserGRBL que sirve como alternativa de alto rendimiento y bajo costo para el control de movimiento de máquinas cnc usando motores de paso, en el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, esta librería acepta Código-G el cual ha sido probado con varias herramientas CAM, este código es traducido con el intérprete de la librería para que la placa de arduino reciba instrucciones y realice los movimientos ordenados.

Con Solidworks como software de diseño se hace la estructura para poder realizar el ensamblaje de los componentes y uniendo el sistema de control entre Software y diseño se puede realizar el trabajo de grabado láser de manera eficaz.

#### X-N. Programación Arduino

Para la programación de la placa Arduino se realizó previamente la compilación de la librería LaserGRBL usando el IDE de Arduino.

El comando para realizar la instalación de la librería es `#include grbl.h` este archivo con formato .h es el que contiene la mayoría de funciones que se suelen encontrar en máquinas de control numérico, como el movimiento de la herramienta de mecanizado, interpretación de coordenadas polares o cartesianas, movimientos angulares y helicoidales, etc.

```
gblplasma
1 //*****
2 This sketch compiles and uploads Grbl to your 32bp-based Arduino!
3
4 To use:
5 - First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino
6 IDE. There are details on our GitHub website on how to do this.
7
8 - Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools > Board menu.
9 NOTE: Grbl only officially supports 32bp-based Arduinos, like the Uno.
10 using other boards will likely not work!
11
12 - Then just click 'upload'. That's it!
13
14 For advanced users:
15 If you'd like to see what else Grbl can do, there are some additional
16 options for customization and features you can enable or disable.
17 Navigate your file system to where the Arduino IDE has stored the Grbl
18 source code files, open the 'config.h' file in your favorite text
19 editor. Inside are dozens of feature descriptions and #defines. Simply
20 comment or uncomment the #defines or alter their assigned values, save
21 your changes, and then click 'upload' here.
22
23 Copyright (c) 2011 Sanguinetti Team
24 Released under the MIT license, see license.txt for details.
25 *****
26
27 #include <grbl.h>
28
29 // Do not alter this file!
30
```

Figura 47. Librería compilada en la placa

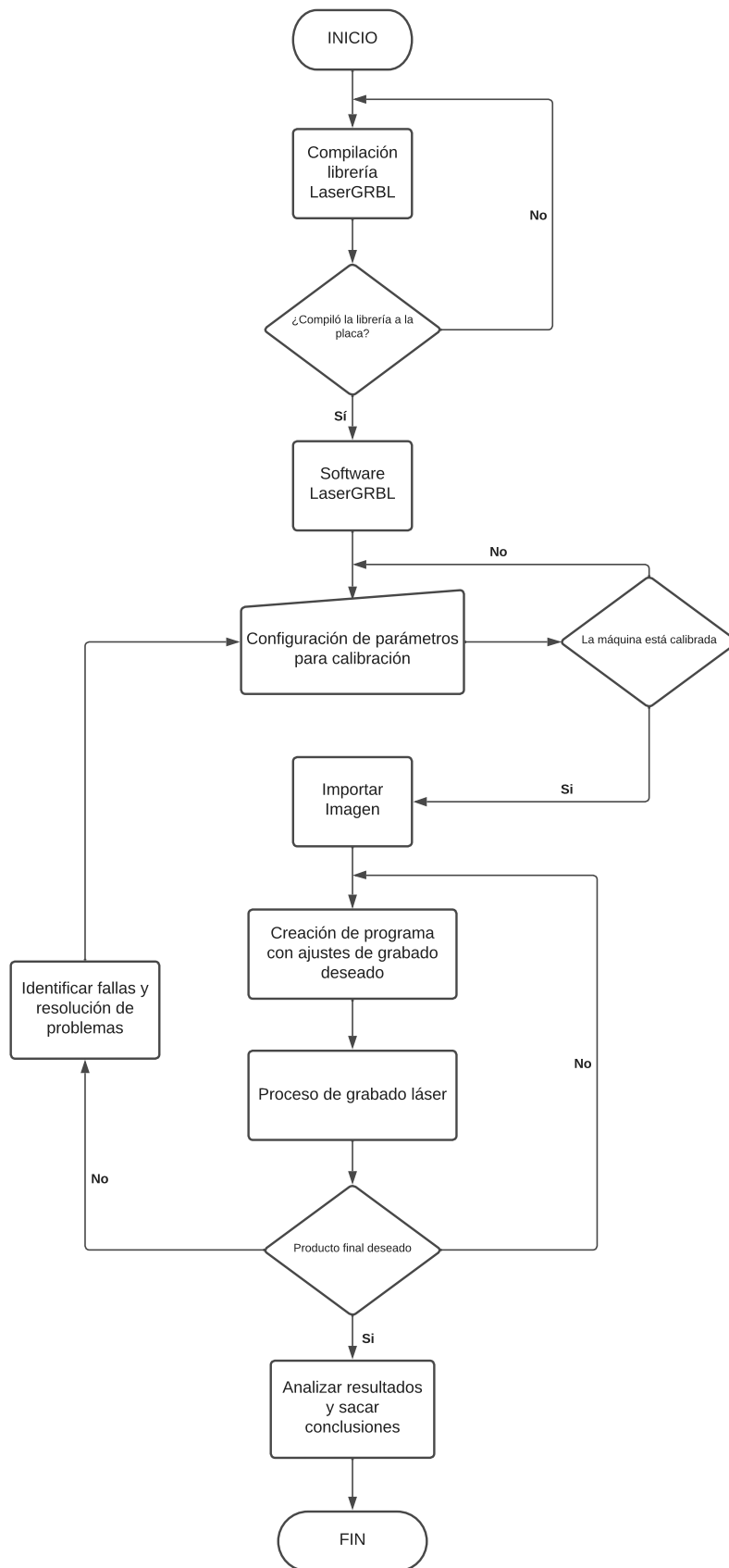
Fuente:Autor

Esta programación funciona de tal manera que al compilar la librería en la placa, se establece comunicación con el software LaserGRBL, caso contrario se chequea si la placa tiene problemas o solo fue un error de compilación, a partir de este punto al ser la primera vez configurando la máquina, el usuario deberá ingresar manualmente los datos para modificar los parámetros acorde a los cálculos obtenidos, este es el proceso de calibración, donde, mediante un método de prueba y error se realiza un test de la resolución de los pasos del motor, estos datos pueden ser modificados hasta llegar a la configuración óptima, hay que recordar que para editar los parámetros, la comunicación con la placa Arduino y el software Grbl debe existir, es decir, si no están conectados, no se pueden modificar valores.

Con los motores calibrados, se decide crear el programa subiendo la imagen que se desea replicar con diversas técnicas de grabado láser, una vez creado el programa, a través de la comunicación creada por la placa y los otros componentes, mediante instrucciones de trabajo en código g, se procede a realizar el proceso de grabado láser, si durante el proceso ocurren imprevistos o el trabajo de el láser no realiza la función de grabar en el material, se identificarán las fallas existentes para dar con una solución a los problemas, generalmente los defectos surgen en el proceso de calibración o al configurar el estilo de grabado en la creación del programa.

Finalmente, si el mecanizado por grabado láser es el esperado, se analizan los resultados y se obtienen conclusiones acerca de la calidad del trabajo.





## *X-Ñ. Conexión de los componentes*

Para realizar la conexión del sistema de control simplemente se debe acoplar la placa Shield sobre la placa Arduino, teniendo en cuenta que el CNC Shield se conecte con los pines digitales y de alimentación.



Figura 48. Acople Shield-Arduino

Fuente: Autor

Como se observa en a figura 49 la placa Shield puede trabajar hasta con 4 motores, 3 de ellos en los planos X, Y, Z y uno adicional para duplicar uno de los ya mencionados. Como el proceso de grabado laser requiere de 2 ejes, X y Y, se usarán 2 drivers de motores de paso A4988 los cuales serán insertados en la zona de X y Y de la placa Shield. Para el correcto funcionamiento es indispensable verificar que los dirvers esten con el potenciómetro hacia abajo y que esten correctamente calibrados de acuerdo a la alimentación de nuestro sistema(revisar ecuación 1, caso contrario una mala conexión provocará daños en los componentes de la placa.

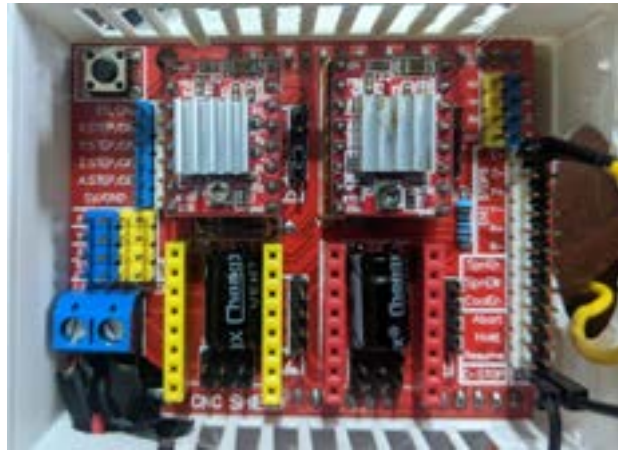


Figura 49. Conexión Drivers

Fuente: Autor

Se procede a realizar la conexión de los motores, junto a los drivers A4988 hay 4 pines donde se conectará cada bobina del motor de pasos, dos pines para cada bobina, los principales errores al conectar los motores a los drivers se debe a la mala conexión a los pines, afortunadamente esto no ocasiona un gran daño, sin embargo, al momento de probar los motores, estos no se moverán o tendrán el sentido de giro invertido.



Figura 50. Conexión Motor

Fuente: Autor

Se conecta el láser al terminal positivo del CNC Shield el cual está conectado en paralelo con la fuente de alimentación, y la señal del láser conectado al pin Z+ de la placa Shield.

Así mismo los sensores finales de carrera obtenidos del reciclaje como se puede observar en la figura 18, van al pin respectivo donde estableceremos los límites, Y+ y X+ además de conectar ambos a un pin

GND de la placa Shield.



Figura 51. Sensor Final de Carrera

Fuente: Autor

Estos sensores están conformados por contactos normalmente cerrado (NC) y contacto normalmente abierto (NA), para la configuración actual se colocaron los sensores trabajando con en el contacto NA, de igual manera el paro de emergencia trabaja con un contacto NA, este botón de emergencia tendrá sus pines conectados en la zona de E-STOP de la placa Shield.



Figura 52. Contacto NA

Fuente: Autor

Para controlar el flujo de aire, se implementó un ventilador disipador, reciclado de impresora LaserJet Pro 400 como se observa en la figura 19, esto para evitar concentración de humo dentro de la máquina.

### X-O. Diagrama de Conexiones

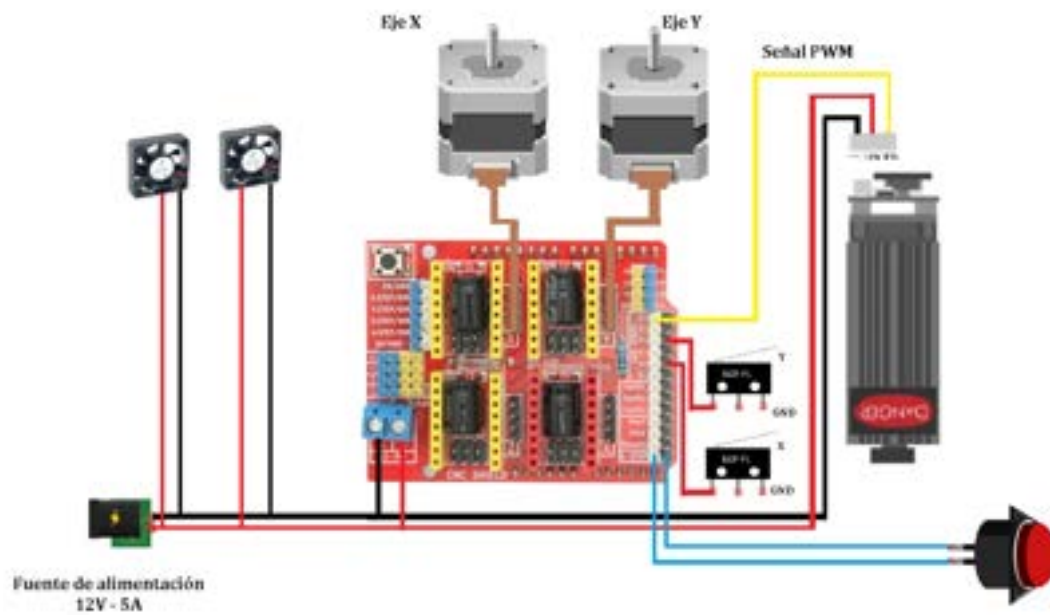


Figura 53. Diagrama de Conexiones

Fuente: Autor

### X-P. Calibración de motores de paso

Los motores de paso al recibir instrucciones mediante el código G generado por el software GRBL realizarán movimientos, los cuales deben moverse en relación a la distancia de avance que le envía el programa.

Por ejemplo, si en el software se emite una distancia de avance de 20, el motor deberá moverse una distancia de 20mm lo que significa que el motor está calibrado correctamente, como los motores que se usaron son los mismos, NEMA 17, la resolución de pasos será la misma tanto para el eje X como para el eje Y.



Figura 54. Controles de avance LaserGRBL

Fuente: Autor

La primera vez que se conectan los motores, se mandan órdenes de movimiento, por lo tanto, los motores estarán sin calibración. En este caso se dibuja un plano con sus respectivas coordenadas, perpendicular al movimiento de los motores para que, mediante un proceso de prueba y error se pueda calcular la resolución en pasos que el motor necesita.

Para mayor precisión al momento de medir, se usó una hoja milimetrada donde se graficó un plano para marcar los movimientos del motor en diferentes puntos a partir de la posición HOME.

Por defecto el software viene configurado con una resolución de pasos de  $250 \text{ steps/mm}$  por lo que si ordenamos un movimiento en  $X+$  la máquina realiza 250 pasos para moverse 1mm; para que la máquina esté calibrada correctamente, se debe calcular el valor para que 1mm en el software sea 1mm real en la máquina

Para llegar a este valor se realizó el cálculo en relación a los movimientos proporcionados por el software y la máquina.

$$\frac{\text{Movimiento Avance}}{\text{Movimiento Real}} \times \text{Resolucion de pasos actual} \quad (10)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 10 se obtiene

$$\frac{20}{18} \times 4,53 = 5,033 \text{ steps/mm}$$

El resultado será el nuevo valor para que la máquina avance la misma distancia que el software ordena.

#### X-Q. Configuración Software LaserGRBL

Una vez que conectados y calibrados, los componentes necesarios, se procede a configurar el software.

Para la obtención del software LaserGRBL se deben dirigir a la web oficial del programa, en la sección de descargas .



Figura 55. Descarga del software

Fuente: Autor

Una vez descargado el programa, se verifica que la placa Arduino y los componentes estén bien conectados al CNC Shield, es muy importante realizar aquí una observación, ya que algún fallo de conexión podría perjudicar algunos de los componentes electrónicos.

Antes de empezar con la configuración del software GRBL, hay que asegurarse de que la placa Arduino tenga la librería subida.

Ya con el software abierto, se encontrará con la interfaz de LaserGRBL que contiene diferentes secciones.

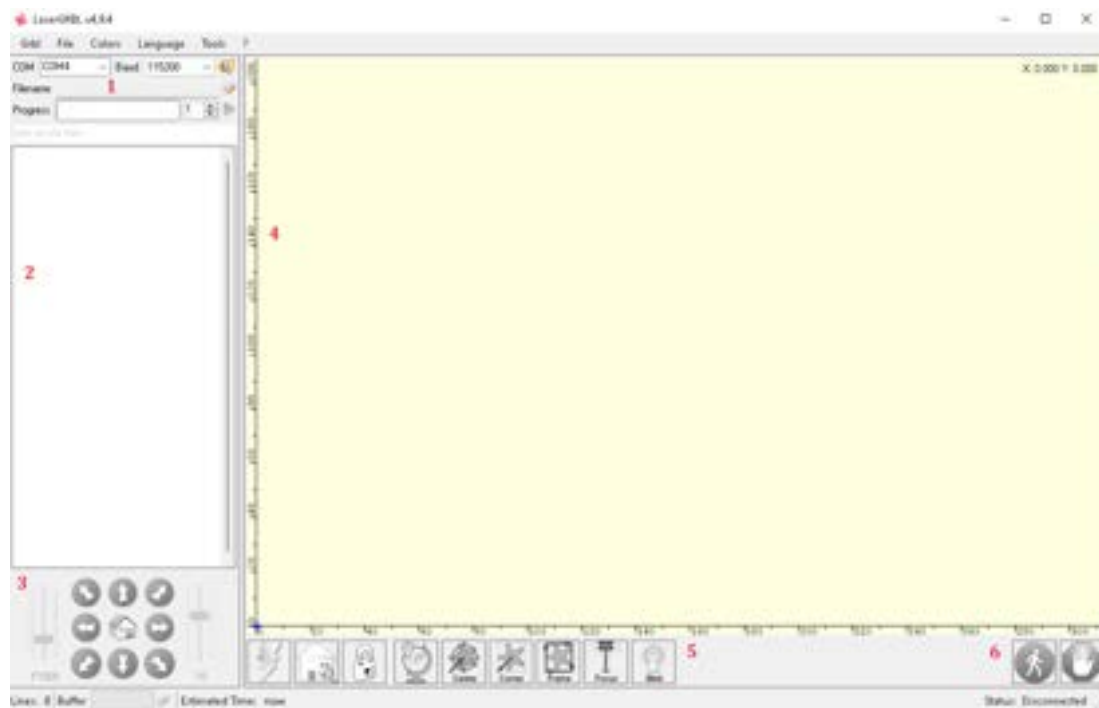


Figura 56. Interfaz LaserGRBL

Fuente: Autor

1. Selección para el puerto de comunicación de la placa y velocidad de comunicación (BaudRate).

2. Visualizador de código G, cuenta con un cuadro para ingresar código G manualmente.
3. Controles de avance , velocidad y retorno a posición HOME.
4. Espacio de trabajo donde se visualiza en tiempo real el trabajo realizado por la máquina.
5. Herramientas para bloquear y desbloquear comandos, limpiar código, configurar nueva posición HOME, ver espacio de trabajo y enfocar láser.
6. Botones para detener y reanudar el trabajo.

Ahora para realizar la conexión entre el software y la placa, se debe señalar el puerto de comunicación en el que se encuentra conectado el Arduino, en este caso es el puerto COM 6, y la velocidad de comunicación (115200 Baudios por defecto), hecho esto, ya se podrá seleccionar la opción de conectar.

Si todo está correcto se observa un mensaje en la sección donde se visualiza el código G, que significa que se efectuó la conexión sin problemas.

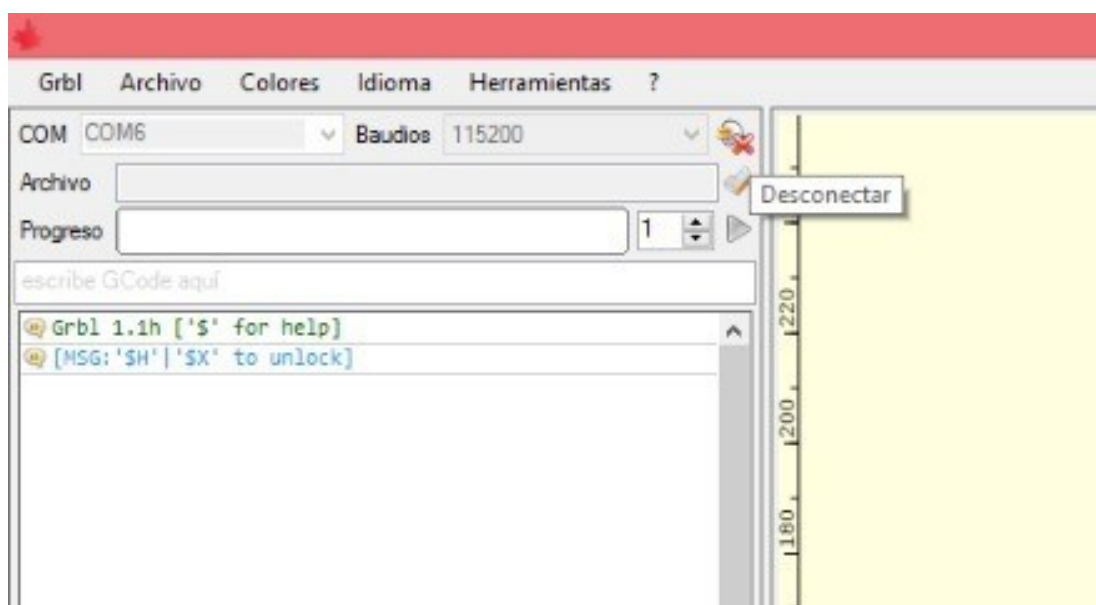


Figura 57. Mensaje conexión realizada

Ahora se podrá configurar los parámetros de la máquina, como límites de trabajo , velocidades, etc. En la esquina superior izquierda en la pestaña GRBL, se selecciona la opción CONFIGURACIÓN GRBL y la cual despliega una ventana de todos los parámetros que pueden ser modificados en la máquina.



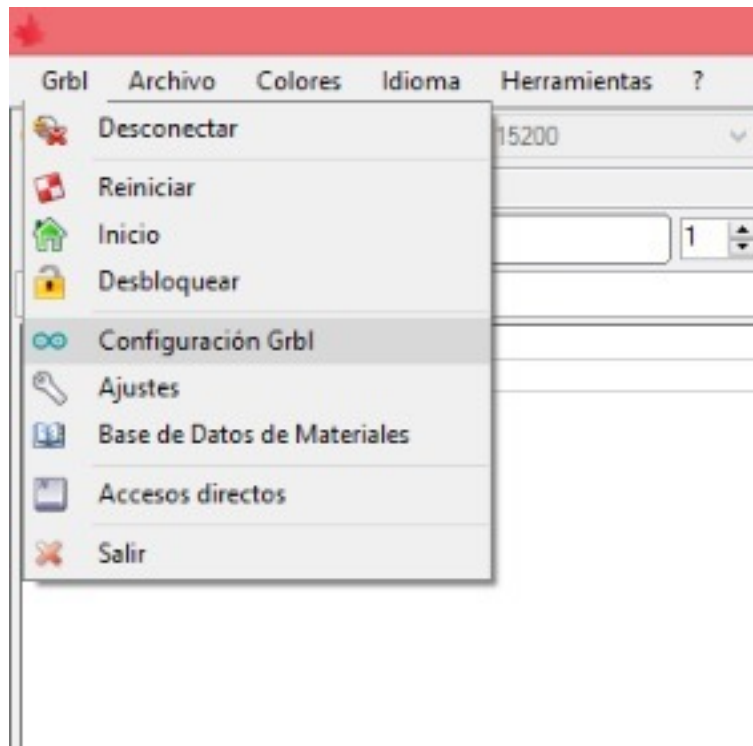


Figura 58. Acceso a configuración GRBL

Fuente: Autor

 A screenshot of the 'Configuración Grbl' window. It displays a table with columns for parameter number, name, value, units, and description. The table lists various parameters such as homing switch pull-off distance, maximum spindle speed, travel resolutions, and maximum rates for X, Y, and Z axes.
 

#	Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
#27	Homing switch pull-off distance	1.000	millimeters	Retract distance after triggering switch ...
#30	Maximum spindle speed	255	RPM	Maximum spindle speed. Sets PWM to 100% d...
#31	Minimum spindle speed	0	RPM	Minimum spindle speed. Sets PWM to 0.4% o...
#32	Laser-mode enable	1	boolean	Enables laser mode. Consecutive G1/2/3 co...
#100	X-axis travel resolution	5.000	step/mm	X-axis travel resolution in steps per mil...
#101	Y-axis travel resolution	5.000	step/mm	Y-axis travel resolution in steps per mil...
#102	Z-axis travel resolution	250.000	step/mm	Z-axis travel resolution in steps per mil...
#110	X-axis maximum rate	1000.000	mm/min	X-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.
#111	Y-axis maximum rate	1000.000	mm/min	Y-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.
#112	Z-axis maximum rate	1000.000	mm/min	Z-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.
#120	X-axis acceleration	10.000	mm/sec <sup>2</sup>	X-axis acceleration. Used for motion plan...
#121	Y-axis acceleration	10.000	mm/sec <sup>2</sup>	Y-axis acceleration. Used for motion plan...
#122	Z-axis acceleration	10.000	mm/sec <sup>2</sup>	Z-axis acceleration. Used for motion plan...
#130	X-axis maximum travel	300.000	millimeters	Maximum X-axis travel distance from homin...
#131	Y-axis maximum travel	250.000	millimeters	Maximum Y-axis travel distance from homin...
#132	Z-axis maximum travel	450.000	millimeters	Maximum Z-axis travel distance from homin...

Figura 59. Parámetros GRBL

Fuente: Autor

Para esta configuración los parámetros mas importantes son:

- \$32 - Laser-mode enable = 1 - Permite activar el laser como herramienta para el grabado.
- \$100 - X-axis travel resolution =  $5,033 \text{ steps/mm}$  Resultado calculado en ecuación 11 - Resolución en pasos por milímetro para el motor en el eje X
- \$101 - Y-axis travel resolution =  $5,033 \text{ steps/mm}$  - Resolución en pasos por milímetro para el motor en el eje Y. Al ser los mismos motores la resolución será igual en los 2 ejes.
- \$110 - X-axis maximum rate =  $1000 \text{ mm/min}$  - Velocidad a la que se mueve entre grabado de líneas
- \$111 - Y-axis maximum rate =  $1000 \text{ mm/min}$  - Ir ajustando este valor si se observan movimientos bruscos o muy lentos.
- \$120 - X-axis acceleration =  $10 \text{ mm/s}^2$  - Aceleración usada para movimiento.
- \$121 - Y-axis acceleration =  $10 \text{ mm/s}^2$  - No exceder el torque del motor o causará pérdida de pasos.
- \$130 - X-axis maximum travel =  $300 \text{ mm}$  - Distancia máxima en la que se mueve el eje X, límites del espacio de trabajo .
- \$131 - Y-axis maximum travel =  $250 \text{ mm}$  - Distancia máxima en la que se mueve el eje Y.

Al terminar la configuración de los parámetros, se presiona la opción 'escribir' para guardar los cambios realizados en la placa, luego se procede a configurar la imagen a grabar y el método de trabajo y así dejar lista la máquina para realizar el mecanizado por láser.

Para seleccionar la imagen que se desea grabar, se elige la opción de subir archivo y se selecciona el directorio en el que se encuentra la imagen guardada tal como se observa en la figura 60.

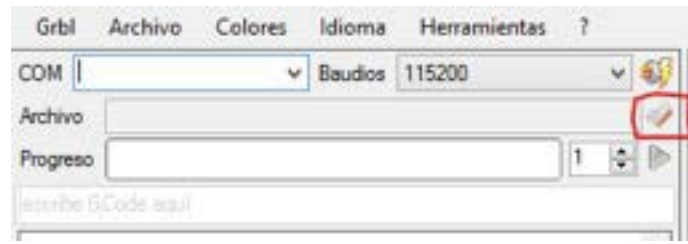


Figura 60. Subida de Imagen

Fuente: Autor

Con la imagen ya seleccionada, se carga el archivo y luego se abrirá la ventana para ajustar la calidad y método de grabado.

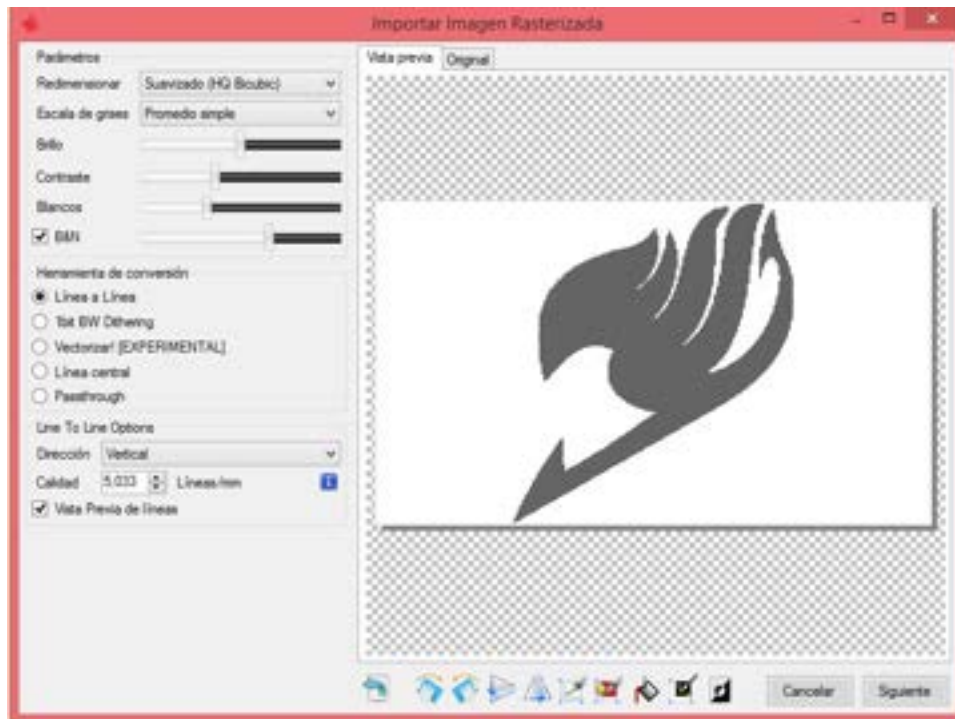


Figura 61. Configuración de grabado

Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura (61) que existen varios ajustes que se pueden modificar antes de realizar el grabado, para el presente proyecto, la configuración con la cual se obtuvieron mejores resultados fueron: el grabado con el método 'Línea a Línea' en dirección Vertical en una escala de blanco y negro, también se puede utilizar el método de 1bit BW Dithering para imágenes con una escala de colores oscuros diferentes.

En la parte inferior se encuentran ajustes de imagen como rotar la imagen, invertir colores y recorte automático o manual.

Al finalizar de retocar la imagen, se abrirá la ventana para configurar el tamaño de la imagen, donde se establece los valores para el ancho y alto del grabado, la potencia del láser donde se eligió Dynamic Power (Potencia Dinámica) para trabajar con señales PWM y se pueden ajustar valores de trabajo mínimo y máximo en la sección S-MIN y S-MAX con un valor de 0 para el 0 % y 255 para el 100 % de trabajo y la velocidad del grabado; en esta sección, la velocidad está relacionada con la calidad del grabado, ya que si se elige un valor muy bajo, el haz del diodo láser se quedará más tiempo en un mismo punto, por lo tanto quemará más la zona que se encuentra apuntando, mientras que un valor más alto, resulta en una calidad más suave lo cual depende del modelo de láser que se use.

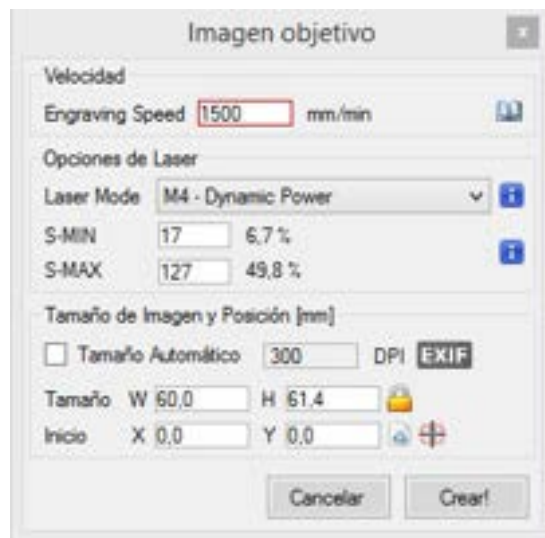


Figura 62. Configuración Láser

Fuente: Autor

Al terminar con la configuración de los parámetros de grabado y del láser, se selecciona la opción de crear para que el programa con la imagen que se desea grabar se pueda cargar, una vez cargada la imagen con la configuración deseada, el software estará listo para proceder a ejecutar el proceso la orden para que el usuario empiece el grabado.

Al iniciar el proceso de grabado, se muestra en el espacio de trabajo la imagen deseada y se puede visualizar en tiempo real el proceso en el software, además de mostrar un tiempo estimado de la duración del grabado.

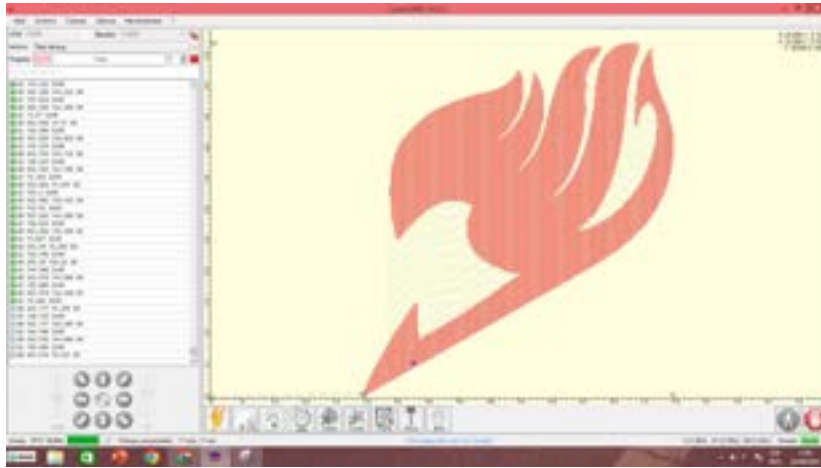


Figura 63. Proceso de grabado en tiempo real

Fuente: Autor

Si existe algún tipo de problema durante el proceso de grabado, o la calidad de la imagen tiene un aspecto que no es del agrado del usuario, siempre se puede detener el programa para editar los valores o para volver a cargar una nueva imagen y crear otro programa.

#### *X-R. Pruebas*

Se probó la calidad usando valores bajos con respecto a la velocidad del grabado, la potencia mínima y máxima del módulo láser, al realizar estas pruebas, se pudo observar que al mantener valores de velocidad de grabado bajo alrededor de 150 a 500  $mm/min$ , a simple vista la calidad era buena, sin embargo, si se observa con detalle, el material presentaba grietas en la zona de grabado, lo cual se interpreta como material quemado por el movimiento lento del láser.



Figura 64. Prueba de grabado 1



Figura 65. Prueba de grabado 2

Fuente: Autor



Figura 66. Prueba de grabado 3

Fuente: Autor

A partir de un método de prueba y error se logró ajustar los parámetros donde la imagen tenía una calidad buena, no obstante, durante el proceso de grabado se encontraron espacios vacíos donde el láser debía pasar, sin embargo, no seguía el recorrido programado, lo cual provocó dos errores comunes, el



primero, que el grabado final presentaba irregularidades, las cuales se observan como una imagen que se grabó de forma duplicada, tal como se ve en la figura 67 y el segundo resultaba, en una imagen en la que no se podían distinguir algunos detalles como se observa en la figura 68.



Figura 67. Prueba de grabado 4

Fuente: Autor



Figura 68. Prueba de grabado 5

Fuente: Autor

## XI. RESULTADOS

Se pueden observar buenos resultados con los cálculos obtenidos en la tabla X, es decir que la precisión de la máquina es lo suficientemente buena para realizar grabados láser con los materiales obtenidos mediante el reciclaje.

Al configurar los parámetros como en la figura (62) se obtuvo una calidad mejor y un grabado mas suave, cabe recalcar que el tamaño de la imagen fuente también influye en el proceso de grabado.

Ya no se observa el material agrietado luego del grabado, ni un aspecto muy quemado, ahora ya se pueden distinguir bordes y no hay espacios por los que el láser omitió recorrido.



Figura 69. Resultado de grabado  
Fuente: Autor



Figura 70. Resultado de grabado 2  
Fuente: Autor

Con esta configuración se realizaron grabados en diferentes tamaños, lo cual influye directamente en el tiempo de la ejecución, se observó que una imagen de  $50 \times 50 \text{ mm}$ , tiene un tiempo de ejecución de 17 min.



Figura 71. Prueba de grabado 8  
Fuente: Autor





Figura 72. Prueba de grabado 9

Fuente: Autor



Figura 73. Prueba de grabado 10

Fuente: Autor



Figura 74. Imagen tomada durante proceso de grabado

Fuente: Autor

## XII. PRESUPUESTO

Elemento	Cant.	Precio Unitario	Total
Estructura de Madera	1	\$20	\$20
Arduino	1	\$16	\$16
CNC Shield	1	\$7,50	\$7,50
Fuente 12V-5A	1	\$12	\$12
Drivers A4988	2	\$2,75	\$5,50
Sensores Finales de Carrera	2	\$0,50	\$1
Botón paro de emergencia	1	\$6	\$6
Módulo Láser	1	\$40	\$40
Guías Lineales	3	\$25	\$75
Poleas y Bandas	2	\$6	\$12
Acrílico	1	\$35	\$35
Motores de paso	2	\$11	\$22
Total	-	-	\$252

Cuadro XIII  
PRESUPUESTO DE LA MÁQUINA

El precio para la fabricación de la máquina es menor, ya que algunos elementos se obtienen del reciclaje, sin embargo, en el mercado actual el valor de todos los componentes oscilan entre los precios adjuntos en la tabla XIII.

### XIII. CONCLUSIONES

- Mediante el estudio bibliográfico se pudieron identificar elementos, los cuales pueden ser completamente implementados para la fabricación de una máquina CNC.
- Equipos como la impresora Canon mp250 y el escáner Xerox DocuMate 4440, son máquinas las cuales se pueden reciclar e implementar elementos como sensores finales de carrera, motores de paso, ventilador, banda dentada con polea.
- A partir del estudio y la identificación de componentes electrónicos en desuso, los cuales se pueden reciclar como impresoras, escáneres, lectores DVD y motores de paso, se implementó un diseño mecatrónico para la construcción de la máquina de grabado láser CNC.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento, donde se concluye que el correcto grabado láser depende mucho del tamaño de la imagen original, por tanto hay que verificar la relación de aspecto de salida durante la configuración del programa.
- Se realizó un diseño estructural simple, capaz de cumplir con el trabajo requerido.
- Se definió un espacio de trabajo específico en la máquina, para que los motores no presenten colisiones con los límites proporcionados, que son 255 mm x 235 mm
- Al trabajar con la placa electrónica de Arduino, drivers, módulo Shield y componentes reciclados, los cuales brindan ventajas económicas, además de realizar un trabajo eficiente.

### XIV. RECOMENDACIONES

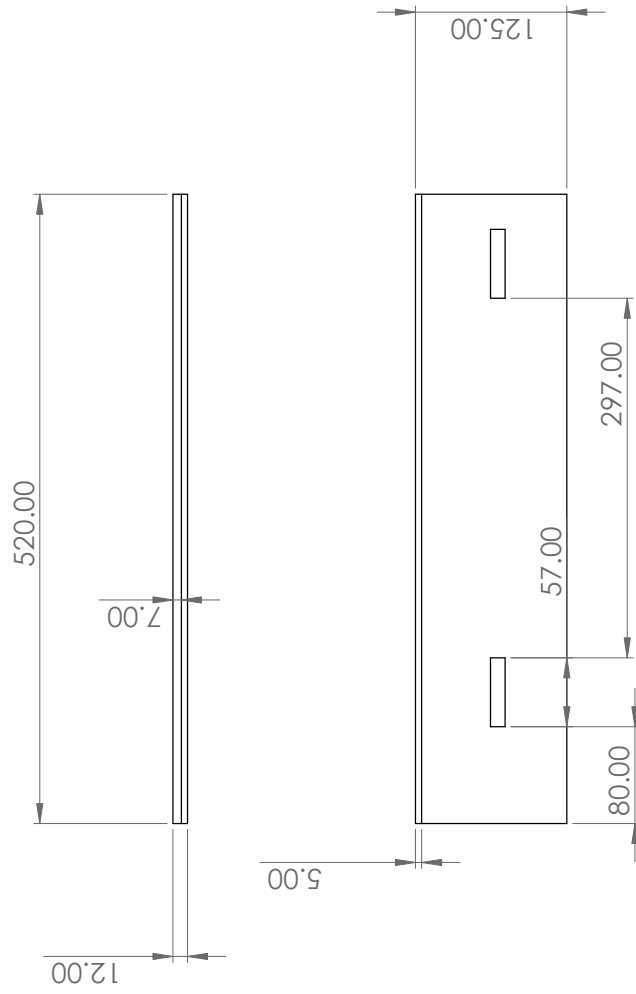
- Se recomienda el uso de herramientas de protección visual, siempre que se trabaje con módulos que emitan un nivel moderado en la potencia de luz, por lo que la máquina propuesta cuenta con un protector contra la radiación de la luz que este diodo emite.
- Para mejorar el proceso, es recomendable revisar la configuración del software para observar si los valores de calibración son los correctos de la máquina, ya que podría tener inconvenientes al momento de realizar grabados, obteniendo resultados no deseados.
- Se recomienda realizar un análisis estructural al diseño implementado, a través del uso de software CAD/CAM que lo permita, para poder conocer esfuerzos de flexión en cada guía y riel.
- Además de realizar una prueba de movimiento del láser previo a la ejecución del grabado, se recomienda realizar el movimiento del láser según la distribución de las cargas en los ejes, es decir, ejecutar el movimiento de la herramienta en el eje que se concentre la mínima carga.
- Se recomienda no utilizar el driver con la configuración de microstepping, esto debido a que una modificación a los pasos del motor resulta en el uso de un nivel de corriente bajo, es decir, se perderán pasos y precisión en el trabajo al tener una fuente que brinda máximo 5 A.
- Para un futuro diseño, se recomienda usar una fuente de alimentación regulable de 12 V para que los motores no presenten dificultades al trabajar al mismo tiempo.

## REFERENCIAS

- [1] Arias L., «Diseño y fabricación de una máquina CNC de corte Láser multipropósito.» Tesis de maestría., Universidad Tecnológica de Perú, 2019.
- [2] Bachs L. and Cuesta J and Careles N, *Aplicaciones industriales del laser*. Barcelona,España: Marcombo, 1988.
- [3] Badamasi Y., «The working principle of an Arduino,» en *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 2014, págs. 1-4.
- [4] Baldé C.P and Wang F. and Kuehr R., *The Global E-waste Monitor 2014*. Tokyo,Japan: United Nations University, 2015.
- [5] Budynas R. and Nisbeth J, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico, 2012.
- [6] Candelas H. and Francisco A. and Fernando T. and Puente M. and Santiago T.and Miguel Á., «Introduction of Robotics in the First Year of Engineering through the Design, Construction and Competition of Robots,» en *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 2019, págs. 804-811.
- [7] Cerón L., *Acero de refuerzo*.
- [8] Craig J., *Robótica*. Mexico, 2006.
- [9] David Green and Jerrold Winandy and David Kretschmann., *Mechanical Properties of Woolf*. 2000.
- [10] De La Cruz J., «¿Qué significan los grados de libertad?» *Revista peruana de epidemiología*, vol. 17, n.º 2, págs. 1-6, 2013.
- [11] Dinal V. and Bhanusali J. and Sha S. and Raj R. and Takarkhede N., «Open Source LaserGRBL – Arduino Based Laser Engraver,» en *Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Science Technology (ICAST2021)*, 2021, págs. 1-6.
- [12] Garibay P.and Ruiz J., «Robótica: Estado del arte.,» *Universidad de Deuston*, pág. 54, 2006.
- [13] H. H. Lund, J. Hallam and Wei-Po Lee., «Evolving robot morphology,» en *Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC '97)*, 1997, págs. 197-202.
- [14] M.M.M SARCAR., *Computer Aided Design and Manufacturing*. New Delhi, 2008.
- [15] Mikel Abasolo, Santiago Navalpotro, Eurne Iriondo y Javier Corral. «Transmisión por correas.» (), dirección: [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/50395/mod\\_resource/content/1/Tema%2011.%20Transmisi%C3%B3n%20por%20correas.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/50395/mod_resource/content/1/Tema%2011.%20Transmisi%C3%B3n%20por%20correas.pdf).
- [16] Mott R., *Resistencia de Materiales*. 2009.
- [17] N. Hidayanti and A. Farooqi and O. Asultan and N.Yusoff, «Design and Development of CNC Robotic Machine Integrate-able with Nd-Yag Laser Device,» *Elsevier*, págs. 145-155, 2017.
- [18] Rodriguez C., «Trabajo técnico diseño y fabricación de máquina de grabado y corte láser CNC,» Tesis de maestría., Universidad de Almería, 2017.
- [19] Samuel Ureta Posadas. «Criterios de selección de motores.» (), dirección: <http://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-ii-criterios-de-seleccion-de-motores-y-drivers/>.
- [20] Smid P., *CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming*. NY,Usa: Industrial Press Inc, 2003.

- [21] Uca S., *Gestión de residuos electrónicos en América Latina*. Santiago de Chile, Chile, 2009.
- [22] Valencia H., «Diseño y fabricación de un prototipo de cortador láser para el grabado de placas electrónicas.» *LatIndex*, vol. 7, n.º 1, págs. 55-63, 2017.
- [23] Wilson D., «Arnold Toynbee and the Industrial Revolution: The Science of History, Political Economy and the Machine Past.» *History and Memory*, vol. 26, n.º 2, págs. 133-161, 2014.
- [24] Witteman W., *The CO2 Laser*. Springer, 2013.

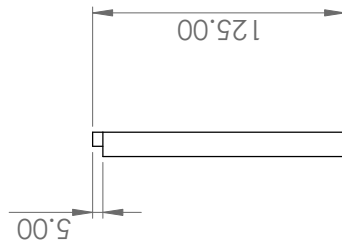
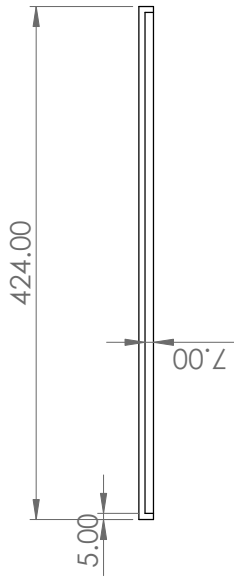
XV. PLANOS DEL PROYECTO



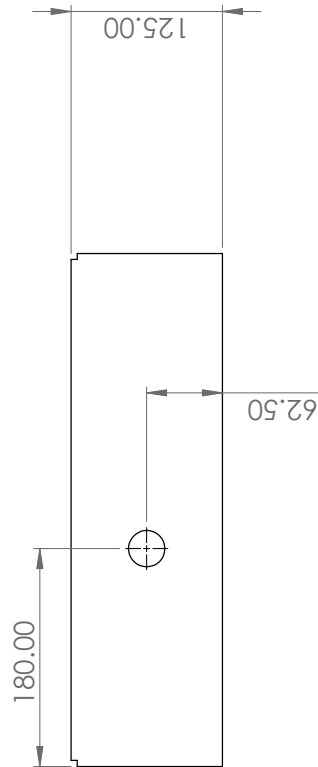
VIEW  
SCALE 1 : 2




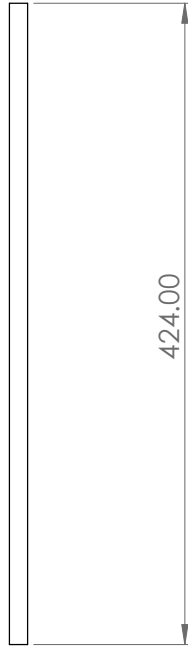
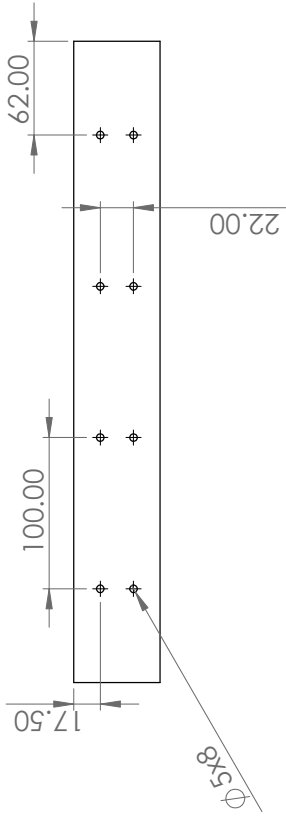
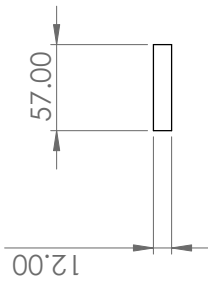
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1.0	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITLE		
Dibujado: Kevin Guadalupe Roberto Caminagua		10/04/2022	Parte Lateral		
8/1/2019			DWG. NO. 1		
			MATERIAL: Madera		
			SCALE: 1:2		
			SHEET 1 OF 1		
			WEIGHT:		



VIEW  
SCALE 1 : 3

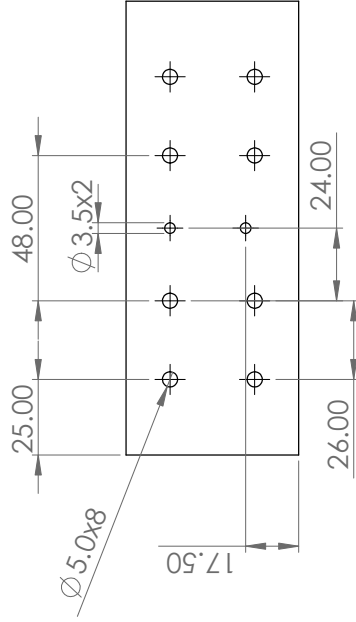
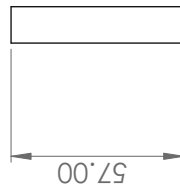
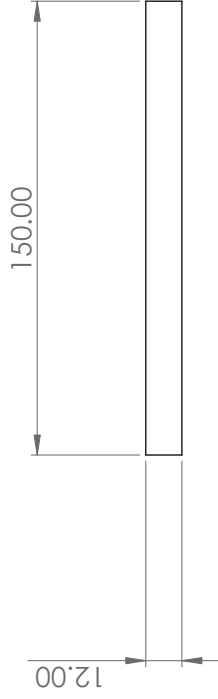


		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	1.0
		TITLE: <b>Parte Posterior</b>			
NOMBRE	FIRMA	FECHA	DWG NO. <b>2</b>		
Dibujada: Kevin Cuadalupe Roberto Caminogua		10/08/2022			
Revisado:	Ing. Ricardo Manzano		MATERIAL: <b>Madera</b>		
WEIGHT:			SCALE: 1:2		
SHEET 1 OF 1			A4		

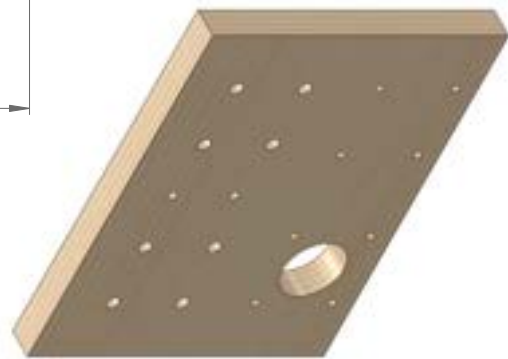
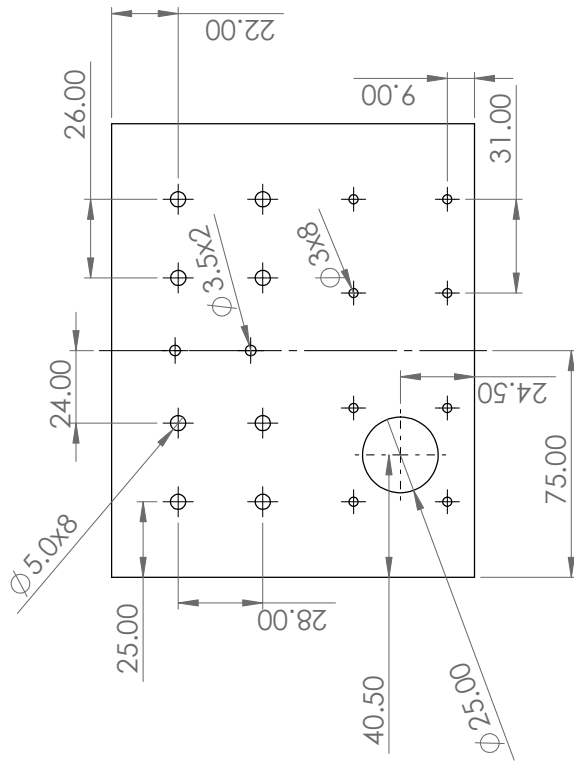
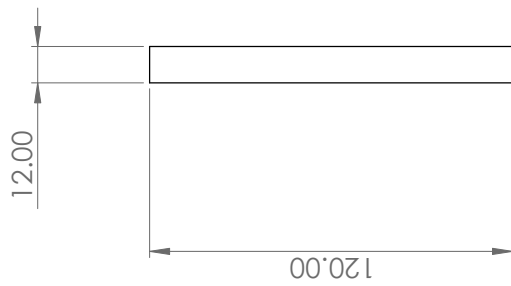


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1.0	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITLE: Soporte Eje		
Dibujada: Kevin Cuadalupe		10/03/2022			
Roberto Caminogua					
Revisado: Ing. Ricardo Manzano			DWG NO. 3		
			MATERIAL: Madera		
			SCALE: 1:2		
			WEIGHT:		
			SHEET 1 OF 1		

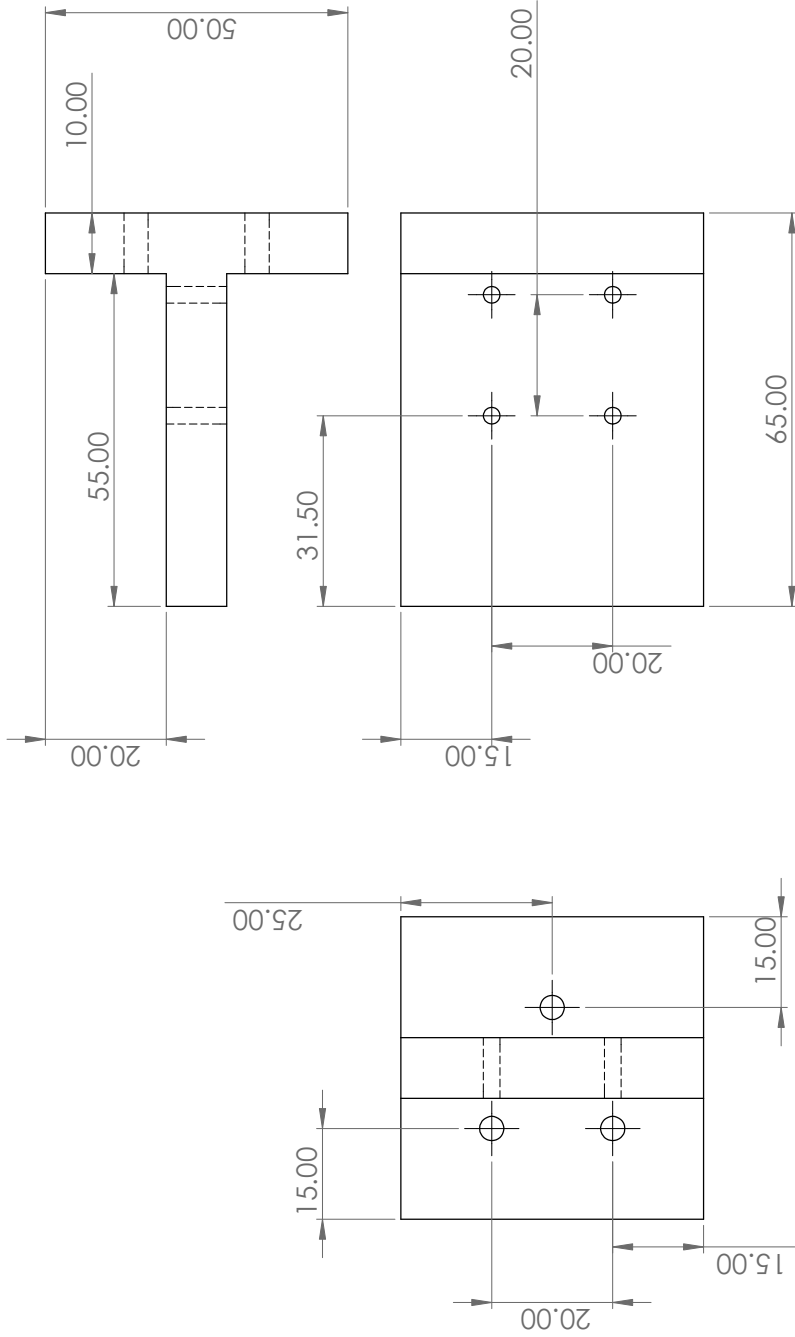




		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1.0	
		TITLE: <h1 style="text-align: center;">Soporte Rodamiento</h1>			
NOMBRE Kevin Cuadalupe Roberto Caminogua		FIRMA  		FECHA 10/08/2022	
Dibuja:		Revisa:		DWG NO. 4	
Ing. Ricardo Manzano		MATERIAL: Madera		SCALE:1:2	
WEIGHT:		SHEET:1 OF 1		A4	



		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	1.0
		TITLE: <b>Soporte Rodamiento 2</b>			
NOMBRE	FIRMA	FECHA			
Dibujada: Kevin Cuadalupe		10/08/2022			
Roberto Caminogua					
Revisado:					
Ing. Ricardo Manzano					
MATERIAL: Madera			DWG NO.	5	A4
WEIGHT:			SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1	



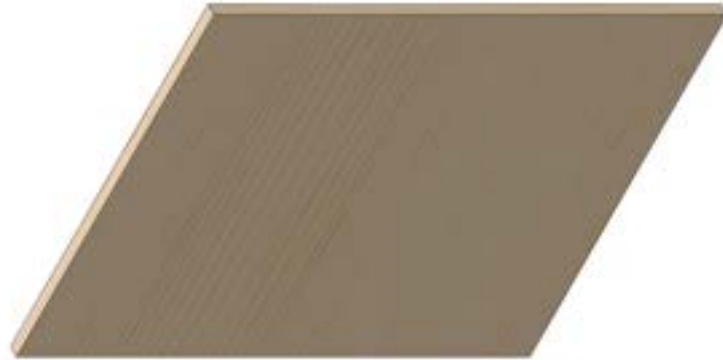
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1.0	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITLE:		
Dibujada: Kevin Cuadalupe		10/08/2022	<b>Soporte Láser</b>		
Roberto Caminogua					
Revisada:			DWG NO. 6		
			MATERIAL: Madera		
			SCALE: 1:2		
			WEIGHT:		
			SHEET 1 OF 1		

12.00

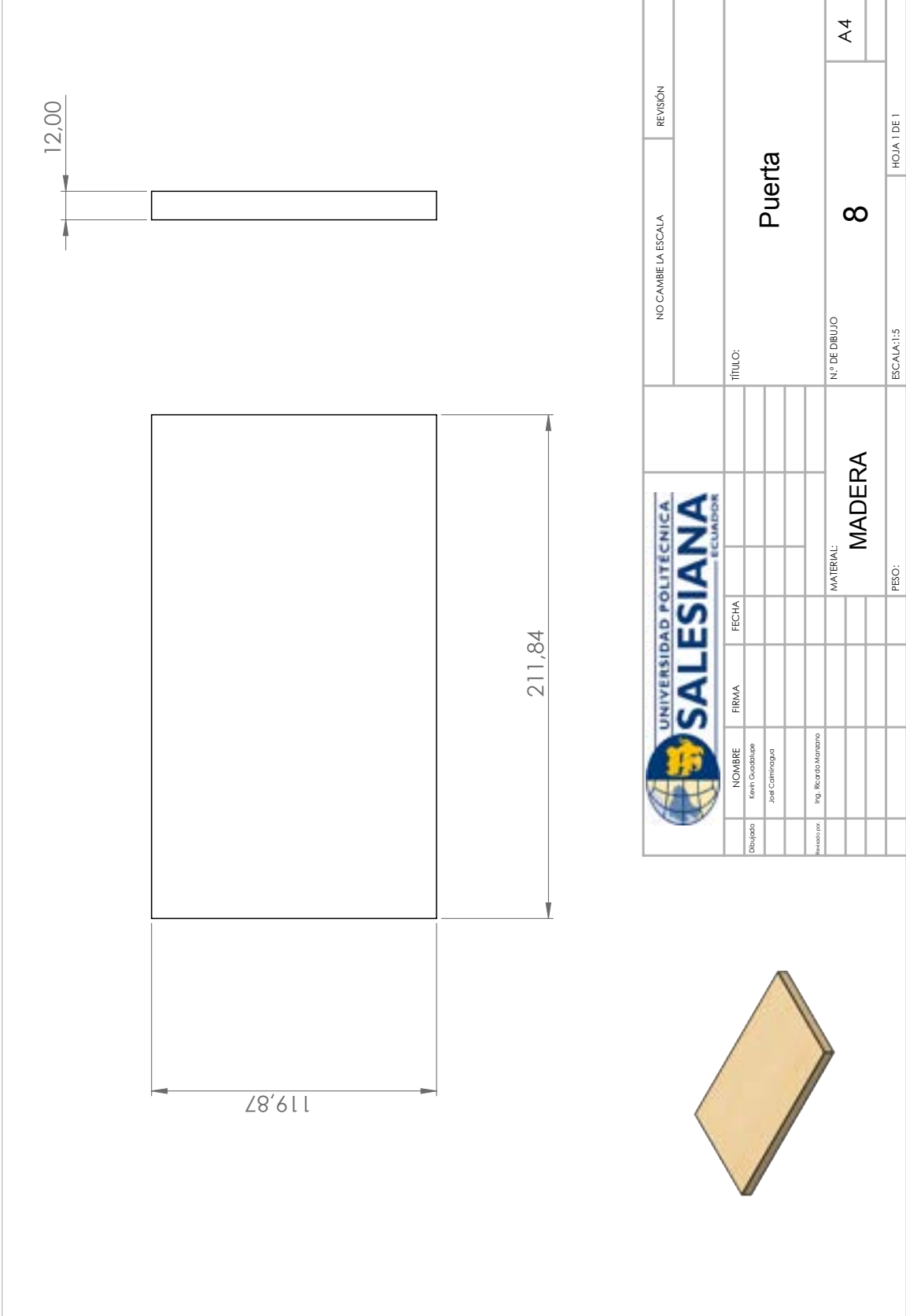
400.00



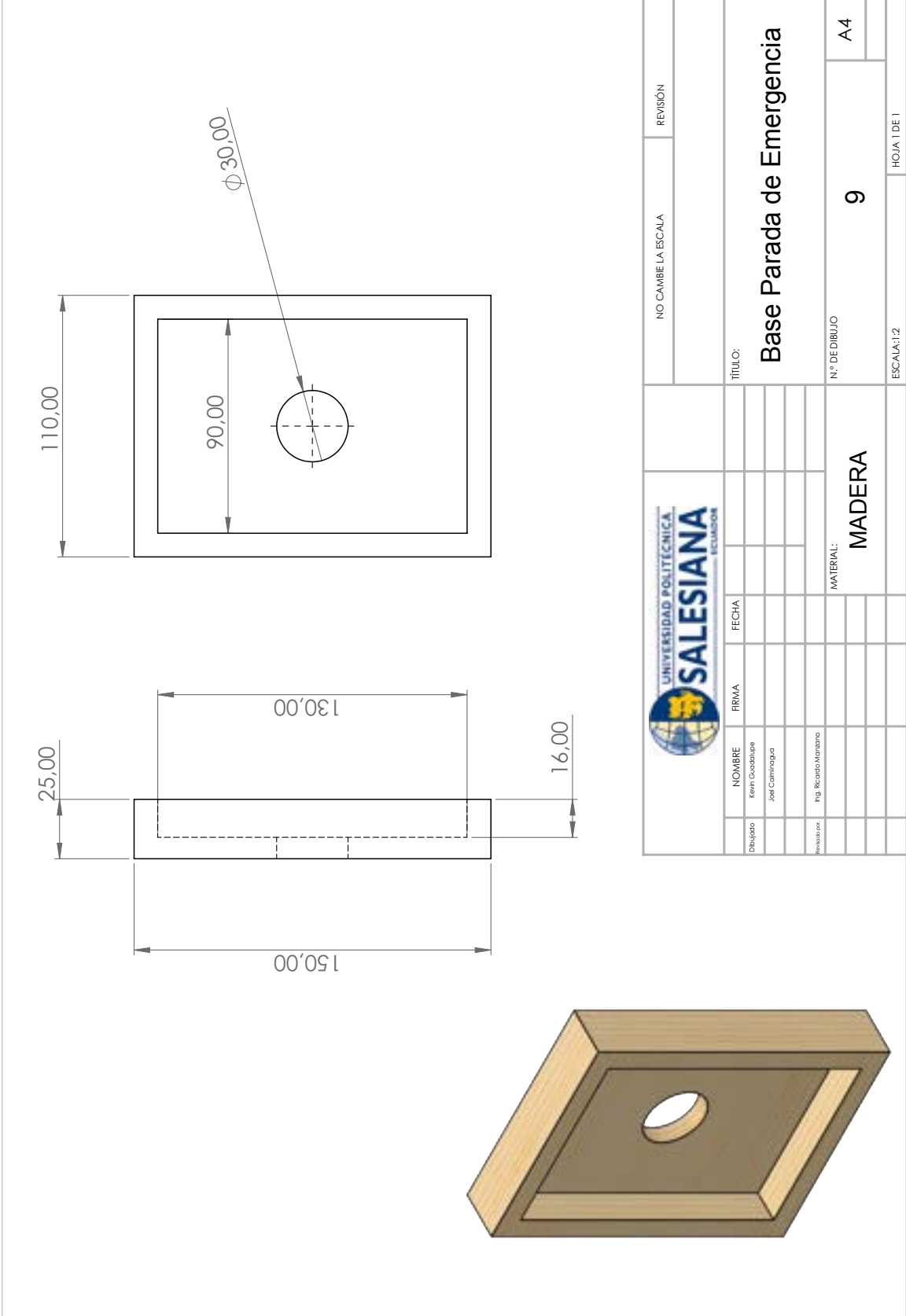
520.00



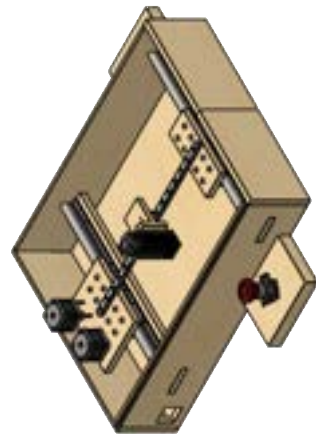
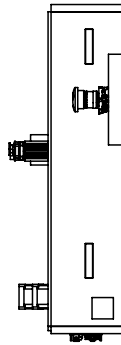
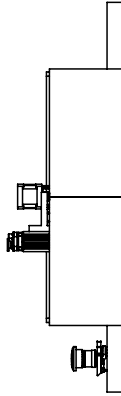
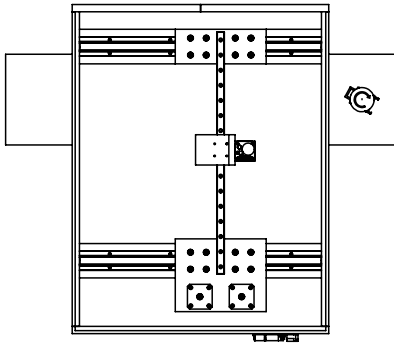
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA ECUADOR		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1.0	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITLE: Base		
Dibujada: Kevin Cuadalupe		10/09/2022	DWG NO. 7		
Roberto Caminogua					
Revisada:			MATERIAL: Madera		
Ing. Ricardo Manzano					
			SCALE: 1:2		
			SHEET 1 OF 1		



		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN
		TÍTULO: <b>Puerta</b>		
Dibujado	NOMBRE Kevin Guadalupe	FIRMA	FECHA	N° DE DIBUJO <b>8</b>
	José Camacho			
Revisado por	Ing. Ricardo Montano			MATERIAL: <b>MADERA</b>
PESO:			ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISIÓN	
		TÍTULO: <b>Base Simétrica Lateral</b>			
Dibujado	NOMBRE	FIRMA	FECHA	N.º DE DIBUJO	A4
	Kevin Guastalupi			10	
	José Carrizosa				
Revisado por	MATERIAL:		PESO:	ESCALA: 1:2	
	MADERA			HOJA 1 DE 1	



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
Dibujado	NOMBRE Kevin Guadalupe	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Ensamblaje</b>	
	Jose Cominagua			N° DE DIBUJO <b>11</b>	
Revisor	Ing. Ricardo Marcano			MATERIAL: <b>MADERA</b>	
				ESCALA: 1:10	
				HOJA 1 DE 1	
				A4	



**MANUAL DE USUARIO**

**MÁQUINA CNC DE GRABADO LÁSER**

**ELABORADO POR:**

**JOEL CAIMINAGUA**

**KEVIN GUADALUPE**

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>Introducción</b>	1
I-A.	Objetivos . . . . .	1
I-B.	Requerimientos . . . . .	1
<b>II.</b>	<b>Características de la Máquina</b>	1
<b>III.</b>	<b>Conexiones</b>	2
III-A.	Arduino - CNC Shield . . . . .	2
III-B.	Motores y drivers . . . . .	2
III-C.	Diagrama De Conexiones . . . . .	3
<b>IV.</b>	<b>LaserGRBL</b>	3
IV-A.	Calibración . . . . .	3
IV-B.	Desacarga del Software LaserGRBL . . . . .	4
IV-C.	Dentro de LaserGRBL . . . . .	4
IV-C1.	Interfaz del programa . . . . .	4
IV-C2.	Configuración de Parámetros . . . . .	5
IV-C3.	Carga de imagen . . . . .	6
IV-D.	Uso Del Software . . . . .	8
<b>V.</b>	<b>Mantenimiento</b>	9
<b>VI.</b>	<b>Seguridad</b>	9
<b>VII.</b>	<b>Errores Comunes</b>	9

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Montaje de CNC a Arduino . . . . .	2
2.	Conexión Drivers en CNC SHIELD . . . . .	3
3.	Diagrama de Conexiones . . . . .	3
4.	Descarga del software . . . . .	4
5.	Interfaz LaserGRBL . . . . .	5
6.	Acceso a configuración GRBL . . . . .	5
7.	Parámetros GRBL . . . . .	6

8.	Carga de archivos . . . . .	7
9.	Configuración de grabado . . . . .	7
10.	Configuración Láser . . . . .	8

## ÍNDICE DE CUADROS

I.	Parámetros Generales de la Máquina . . . . .	1
----	--	---

### I. INTRODUCCIÓN

#### I-A. *Objetivos*

Ofrecer una guía al usuario de como poder utilizar, procesar y darle un adecuado mantenimiento a la máquina CNC.

#### I-B. *Requerimientos*

Los requerimientos recomendados del sistema son:

- Windows XP - Windows 11
- Sistema Operativo de 64 bits para acceder a todas las funcionalidades del software
- Versión 4 en adelante de Microsoft.Net Framework en el sistema
- 2 GB de memoria RAM

### II. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA

Parámetros	
Ancho	430 <i>mm</i>
Largo	532 <i>mm</i>
Altura	225 <i>mm</i>
Espesor	12 <i>mm</i>
Espacio de Trabajo	380 × 297 <i>mm</i>
Alimentación	110V

Cuadro I  
PARÁMETROS GENERALES DE LA MÁQUINA

La velocidad del grabado, depende del procesador del equipo de cómputo, por lo tanto, mientras más recursos se asignen al uso del software, el tiempo para obtener el producto final disminuirá.

Fuente externa de 12V regulables a una corriente de 5 A, se recomienda que la corriente dependa de la cantidad de motores conectados a la placa, usualmente se suministra 2A por cada motor montado, por ejemplo si se conectan dos motores en la placa, de debería conectar una fuente con una corriente de 4A o 5A.

### III. CONEXIONES

#### III-A. *Arduino - CNC Shield*

El módulo de expansión CNC Shield, está especialmente diseñado para el microcontrolador Arduino, es por ello que su conexión es sencilla, basta con montarlo directamente en la placa como se muestra en la siguiente figura:



Figura 1. Montaje de CNC a Arduino

El pin de voltaje de potencia del módulo no se encuentra montado al pin de alimentación del microcontrolador Arduino, por lo tanto, se deberá conectar una fuente externa según el circuito a utilizar.

#### III-B. *Motores y drivers*

El módulo CNC Shield permite conectar hasta 4 motores simultáneamente, los cuales representan los ejes X, Y, Z y A, este último se lo utiliza como duplicado de uno de los anteriores ejes. Los drivers compatibles para este módulo son los A4988 y DRV8825. Se debe considerar que para un correcto uso de estos, se tiene que tomar en cuenta que el A4988 permite manejar motores de paso de hasta 2A por bobinado y posee un microstepping de hasta 1/16, mientras que el DRV8825, permite manejar motores de hasta 2.5A y con un microstepping de 1/32.

Para su conexión, basta con insertar los pines de cada driver en las ranuras que posee el módulo, para reconocer el sentido de orientación de los drivers, se debe guiar a través del pin Enable de cada uno de ellos como lo muestra la siguiente imagen:

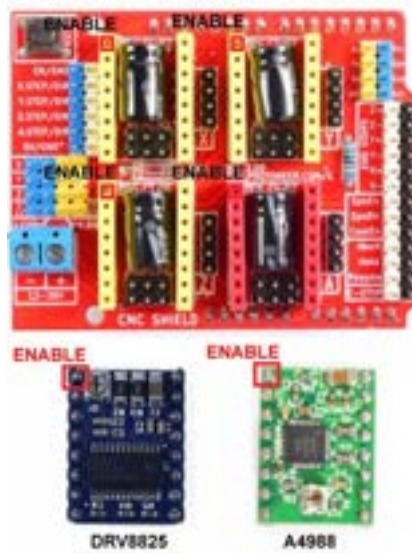


Figura 2. Conexión Drivers en CNC SHIELD

### III-C. Diagrama De Conexiones

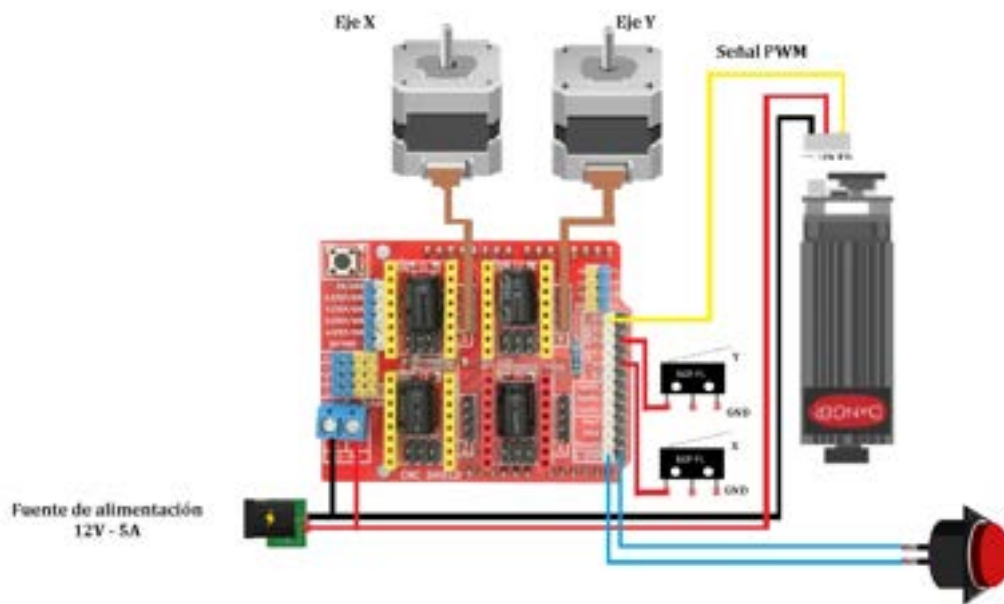


Figura 3. Diagrama de Conexiones

## IV. LASERGRBL

### IV-A. Calibración

Por defecto el software viene configurado con una resolución de pasos de  $250 \text{ steps/mm}$  por lo que si ordenamos un movimiento en  $X+$  la máquina realiza 250 pasos para moverse 1mm; para que la máquina

esté calibrada correctamente, se debe calcular el valor para que 1mm en el software sea 1mm real en la máquina.

Para llegar a este valor se realizó el cálculo en relación a los movimientos proporcionados por el software y la máquina.

$$\frac{\text{Movimiento Avance}}{\text{Movimiento Real}} \times \text{Resolucion de pasos actual} \quad (1)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 1 se obtiene

$$\frac{20}{18} \times 4,53 = 5,033 \text{ steps/mm}$$

El resultado será el nuevo valor para que la máquina avance la misma distancia que el software ordena.

#### IV-B. Descarga del Software LaserGRBL

Para la obtención del software LaserGRBL se deben dirigir a la web oficial del programa o al siguiente enlace <https://lasergrbl.com/download/> , en la seccion de descargas.



Figura 4. Descarga del software

Una vez descargado el programa, se verifica que la placa Arduino y los componentes estén bien conectados al CNC Shield, es muy importante realizar aquí una observación, ya que algún fallo de conexión podría perjudicar algunos de los componentes electrónicos.

Antes de empezar con la configuración del software GRBL, hay que asegurarse de que la placa Arduino tenga la librería subida.

#### IV-C. Dentro de LaserGRBL

##### IV-C1. Interfaz del programa:

La interfaz del programa se puede clasificar por módulos como se puede observar a continuación.

1. Selección para el puerto de comunicacion de la placa y velocidad de comunicacion (BaudRate).
2. Visualizador de codigo G, cuenta con un cuadro para ingresar código G manualmente.
3. Controles de avance , velocidad y retorno a posicion HOME.
4. Espacio de trabajo donde se visualiza en tiempo real el trabajo realizado por la máquina.

- 5. Herramientas para bloquear y desbloquear comandos, limpiar código, configurar nueva posición HOME, ver espacio de trabajo y enfocar láser.
- 6. Botones para detener y reanudar el trabajo.

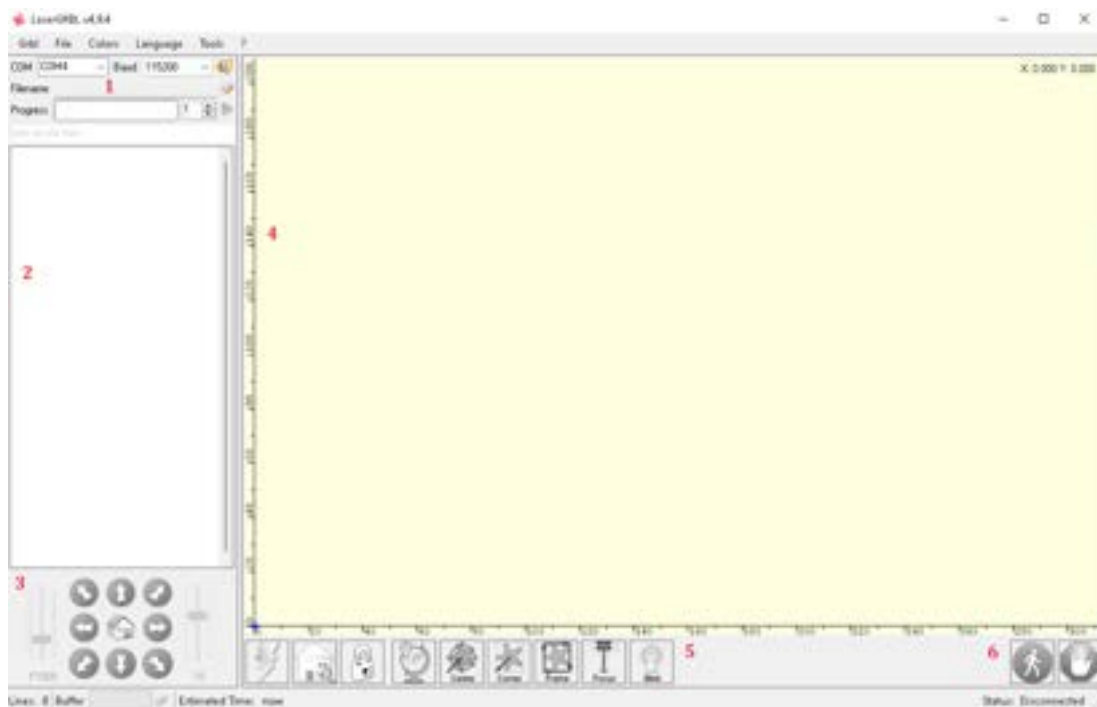


Figura 5. Interfaz LaserGRBL

#### IV-C2. Configuración de Parámetros:

En la esquina superior izquierda en la pestaña GRBL, se selecciona la opción Configuración Grbl y la cual despliega una ventana de todos los parámetros que pueden ser modificados en la máquina.

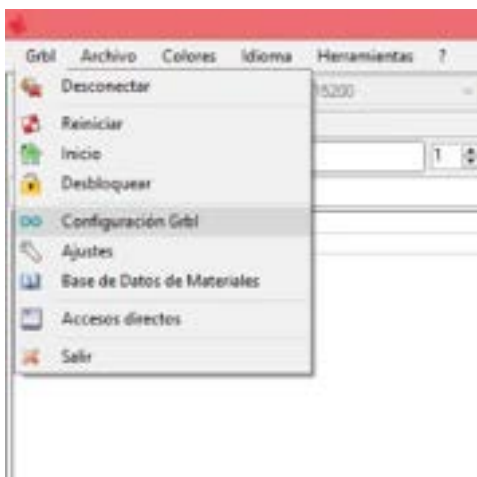


Figura 6. Acceso a configuración GRBL

ID	Parameter	Value	Units	Description
\$17	Homing switch pull-off distance	1.000	millimeters	Retract distance after tripping switch
\$10	Maximum spindle speed	240	RPM	Maximum spindle speed. Sets PWM to 100% d...
\$11	Maximum spindle speed	0	RPM	Maximum spindle speed. Sets PWM to 0.49 v...
\$12	Laser-mode enable	1	boolean	Enables laser mode. Consecutive G1/G2/G3 m...
\$100	X-axis travel resolution	5.033	steps/mm	X-axis travel resolution in steps per mil...
\$101	Y-axis travel resolution	5.033	steps/mm	Y-axis travel resolution in steps per mil...
\$110	X-axis travel resolution	240.000	steps/mm	X-axis travel resolution in steps per mil...
\$110	X-axis maximum rate	1000.000	mm/min	X-axis maximum rate. Used as G1 rapid rate
\$111	Y-axis maximum rate	1000.000	mm/min	Y-axis maximum rate. Used as G1 rapid rate
\$120	X-axis maximum rate	1000.000	mm/min	X-axis maximum rate. Used as G1 rapid rate
\$120	X-axis acceleration	10.000	mm/sec <sup>2</sup>	X-axis acceleration. Used for motion plan...
\$121	Y-axis acceleration	10.000	mm/sec <sup>2</sup>	Y-axis acceleration. Used for motion plan...
\$122	Z-axis acceleration	10.000	mm/sec <sup>2</sup>	Z-axis acceleration. Used for motion plan...
\$130	X-axis maximum travel	300.000	millimeters	Maximum X-axis travel distance from home...
\$131	Y-axis maximum travel	250.000	millimeters	Maximum Y-axis travel distance from home...
\$132	Z-axis maximum travel	600.000	millimeters	Maximum Z-axis travel distance from home...

Figura 7. Parámetros GRBL

Para esta configuración los parámetros mas importantes son:

- \$32 - Laser-mode enable = 1 - Permite activar el laser como herramienta para el grabado.
- \$100 - X-axis travel resolution =  $5,033 \text{ steps/mm}$  Resultado calculado en ecuación 2 - Resolución en pasos por milímetro para el motor en el eje X
- \$101 - Y-axis travel resolution =  $5,033 \text{ steps/mm}$  - Resolución en pasos por milímetro para el motor en el eje Y. Al ser los mismos motores la resolución sera igual en los 2 ejes.
- \$110 - X-axis maximum rate =  $1000 \text{ mm/min}$  - Velocidad a la que se mueve entre grabado de líneas
- \$111 - Y-axis maximum rate =  $1000 \text{ mm/min}$  - Ir ajustando este valor si se observan movimientos bruscos o muy lentos.
- \$120 - X-axis acceleration =  $10 \text{ mm/s}^2$  - Aceleración usada para movimiento.
- \$121 - Y-axis acceleration =  $10 \text{ mm/s}^2$  - No exceder el torque del motor o causará pérdida de pasos.
- \$130 - X-axis maximum travel =  $300 \text{ mm}$  - Distancia máxima en la que se mueve el eje X, límites del espacio de trabajo .
- \$131 - Y-axis maximum travel =  $250 \text{ mm}$  - Distancia máxima en la que se mueve el eje Y.

Al terminar la configuración de los parámetros, se presiona la opción 'escribir' para guardar los cambios realizados en la placa, luego se procede a configurar la imagen a grabar y el método de trabajo y así dejar lista la máquina para realizar el mecanizado por láser.

#### IV-C3. Carga de imagen:

Para seleccionar la imagen que se desea grabar, se elige la opción de subir un archivo y se selecciona el directorio en el que se encuentra la imagen guardada tal como se observa en la siguiente imagen, cabe recalcar, que el software admite archivos en formato JPEG, PNG, JPG.



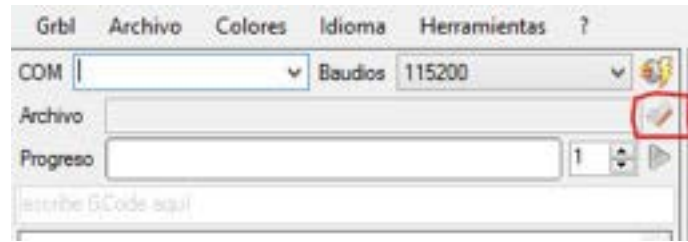


Figura 8. Carga de archivos

Una vez ya subida la imagen, se abrirá una ventana la cual se podrá ajustar la calidad y método de grabado.

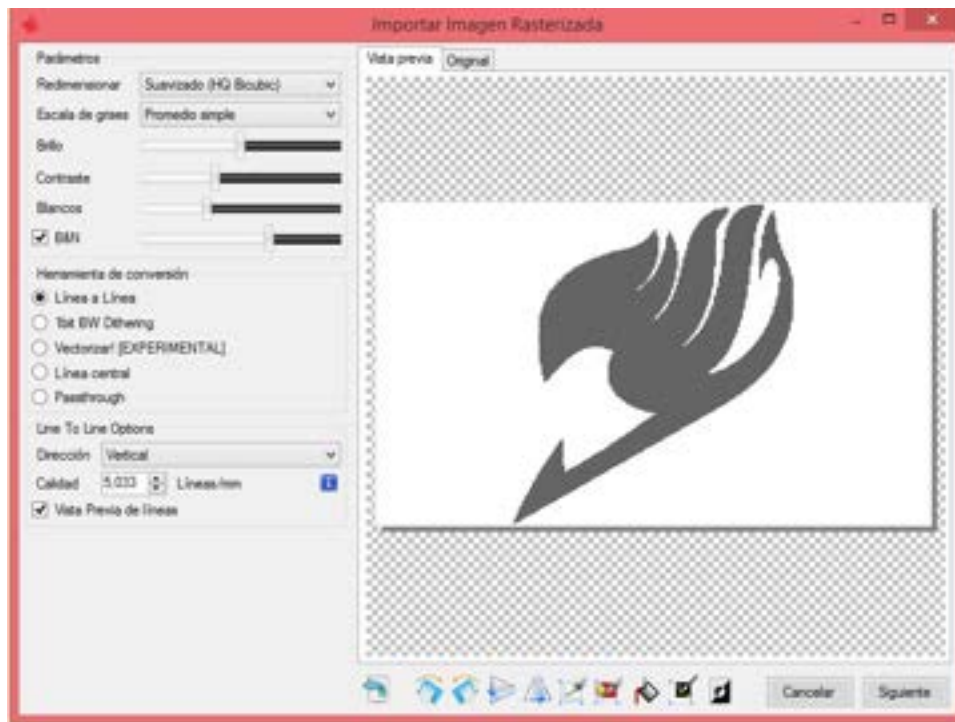


Figura 9. Configuración de grabado

Se pueden realizar varias modificaciones a la imagen empezando por la opción redimensionar, la cual permite elegir entre dos estilos de grabado como lo son : Sharp y Suavizado.

- Sharp: Los contornos de la imagen son más agudos sin embargo se pierde suavidad.
- Suavizado: Los contornos son más suaves, provocando un mejor delineado

Existen opciones para cambiar las tonalidades de blanco y negro si se desea, a través de los ajustes del brillo, contraste y blancos; también se puede grabar la imagen en una escala de grises desmarcando la casilla B&N.

Se pueden seleccionar varios tipos de grabado según la elección del usuario como:

- Línea a Línea: El mecanizado se realizará mediante líneas según la orientación que desee el usuario. Esta opción es recomendable para imágenes, las cuales no posean una gran variedad de colores.
- 1bit DW Dithering: El grabado reproduce sombras de grises pixelando la imagen con una gran cantidad de puntos negros.
- Vectorizar: Permite realizar grabados sin marcas de agua, dibujos a manos, manchas con la mayor calidad posible.
- Passthrough: Esta configuración deja la imagen intacta sin ningún proceso GRBL, el grabado se realizará línea a línea y de forma horizontal

Luego de adecuar la imagen según las necesidades del usuario, se abrirá una ventana para modificar el tamaño, la velocidad del grabado y la potencia del láser.



Figura 10. Configuración Láser

Al cargar la imagen habrá que ajustar el valor SMIN y SMAX que son los valores de potencia mínimo y máximo de la herramienta láser, para SMIN el valor será de 0 para mantener el módulo apagado cuando no se necesite grabado, y para SMAX para ajustar el trabajo de láser al 100 % es 255.

#### IV-D. *Uso Del Software*

LaserGRBL se comunica con la grabadora láser a través de un lenguaje estandarizado llamado Código G, originalmente aplicado a máquinas de control numérico(CNC).

Este lenguaje incluye una serie de comandos de movimiento, gestión de herramienta, entre otras muy extensa.

Los comandos mas importantes son:

Para revisar la documentación completa de código g, se puede dirigir a <https://reprap.org/wiki/G-code>.

G-Code	Acción que realiza
M3/M4	Encendido del láser
M5	Apagado del láser
S1000	Ajusta potencia a un valor de 1000
F200	Coloca velocidad a 200 mm/min
G0 X10 Y20	Movimiento rápido (posicionamiento) al punto X10, Y20 a un feed rate máximo
G1 X30 Y20	Movimiento lineal al punto X30, Y20 a la velocidad programada F
G2	Dibujar un arco
G90/G91	Posicionamiento absoluto / Posicionamiento relativo

## V. MANTENIMIENTO

Se recomienda cada cuatro días de trabajo, lubricar los ejes, tensar las bandas y ajustar las poleas en los ejes de cada motor. Al realizar cambios sobre los componentes o el cableado, es apropiado desconectar el equipo de la corriente y de la computadora.

## VI. SEGURIDAD

- En el caso de que la máquina presente alguna eventualidad, hay que presionar el botón de parada de emergencia para detener el trabajo, y resolver el problema que se manifieste. El botón actuará como un botón RESET para el Arduino, ordenando así su respectivo reinicio.
- Se recomienda ubicar la máquina en un lugar ventilado, para evitar sobrecalentamientos de los componentes electrónicos.
- Para evitar molestias en la visión, es recomendable el uso de protección visual, como gafas protectoras o no mirar directamente la luz emitida por el láser.
- Al momento de ejecutar cualquier proceso de mecanizado, no ingresar la mano debido a que puede ocasionar ciertos accidentes.

## VII. ERRORES COMUNES

- Drivers mal calibrados, hay que observar que al conectar los drivers, el potenciómetro se encuentre en la parte inferior, luego realizar el cálculo del voltaje de referencia correspondiente a la configuración deseada.

$$V_{REF} = I_{MAX} \cdot (8 \times R_S)$$

$$V_{REF} = 1,8A \cdot (8 \times 0,1\Omega)$$

$$V_{REF} = 1,44V \times 0,7$$

$$V_{REF} = 1,008V$$

Donde  $I_{MAX}$  = Corriente máxima de trabajo del motor y  $R_S$  = el valor de la resistencia en el driver A4988, finalmente se multiplica por 0.7 que representa al porcentaje máximo de corriente usada para la configuración a pasos completos del driver.

- Debido al trabajo de movimiento continuo realizado en cada eje, usualmente se presenta fricción entre los rodamientos, una solución inmediata es aplicar lubricante en la zona de trabajo de los rodamientos.
- Si al trabajar, los motores presentan fallas o no ejecutan los movimientos deseados, talvez la potencia requerida para su trabajo no es la óptima, con una fuente de voltaje regulable hasta 24V trabajan perfectamente.
- La banda y el motor trabaja en conjunto, por lo que una banda mal tensada, resulta en mala calidad de grabado,
- Si en la calidad del producto final se presenta una imagen muy quemada, revisar los ajustes de potencia del láser antes de ejecutar el programa de grabado, el valor recomendado de velocidad de grabado esta en el rango de  $1300 \text{ mm/min}$  a  $1500 \text{ mm/min}$ , y la potencia mínima y máxima con 10 y 210 respectivamente.