

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



TESIS

Diseño del sistema de control de una máquina CNC láser de CO₂ utilizando uC ATmega328P para optimizar el corte de acrílico

Para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico.

Elaborado por

Marco Cesar Idrogo Muñoz

 [0000-0001-6043-2145](https://orcid.org/0000-0001-6043-2145)

Asesor

MSc. Juan Francisco Tisza Contreras

 [0000-0003-2548-2686](https://orcid.org/0000-0003-2548-2686)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Idrogo Muñoz [1]
Referencia/Reference	[1] M. Idrogo Muñoz, " <i>Diseño del sistema de control de una máquina CNC láser de CO₂ utilizando uC ATmega328P para optimizar el corte de acrílico</i> " [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Idrogo, 2024)
Referencia/Reference	Idrogo, M. (2024). <i>Diseño del sistema de control de una máquina CNC láser de CO₂ utilizando uC ATmega328P para optimizar el corte de acrílico</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a mis padres Cesar y Yolanda por el amor que me han demostrado al apoyarme en todo el transcurso de mi formación profesional como ingeniero, además me inculcaron valores como la fortaleza para surgir ante cada adversidad.

Agradecimientos

Agradezco a Dios porque me ayudó a que se haga realidad cada meta que me he proyectado en el transcurso de toda mi existencia. Agradezco a mis padres por ser mi soporte emocional y económico. Agradezco mi alma mater, mi querida Universidad Nacional de Ingeniería ya que me formó profesionalmente.

Agradezco de corazón a todas mis amistades y compañeros por el apoyo mutuo en cada trabajo en equipo.

Resumen

En la presente tesis se describe el diseño del sistema control de una máquina de control numérico computarizado (CNC) láser de CO_2 y tiene como problema que los controladores existentes presentan problemas debido a que las empresas fabricantes de tarjetas de control tienen patentes sobre la tecnología, lo que dificulta las modificaciones necesarias del código. En la industria de vehículos menores, particularmente en el proceso de enmicado, el trazado de la plancha de acrílico con el molde puede generar rayaduras que resultan en una pérdida irreparable del material.

La presente investigación presenta como metodología de tipo experimental y de nivel descriptivo. El desarrollo de la investigación consiste en realizar un controlador de máquina herramienta láser CNC basado en el uC (microcontrolador) ATmega328P que es programado en el lenguaje C. Asimismo, se resuelve el problema del algoritmo de nesting, que es el proceso fundamental para optimizar el corte de material.

Como resultado se obtiene un eficiente sistema de control de máquinas CNC con láser de CO_2 , que mejorará la calidad y eficiencia del corte de acrílico, disminuyendo el tiempo y los gastos asociados a la producción.

Palabras claves: Microcontrolador, Acrílico, Optimización, Control

Abstract

This thesis describes the design of a control system for a computer numerical control (CNC) CO₂ laser machine. The problem addressed is that existing controllers face challenges due to control board manufactures holding patents on the technology, making necessary code modifications difficult. In the industry of smaller vehicles, specifically in the lamination process, tracing the acrylic sheet with the mold can lead to scratches, resulting in irreparable material loss.

The present investigation presents as a methodology of experimental type and descriptive level. The development of the research, it consists of making a CNC laser machine tool controller based on the ATmega328P uC (microcontroller) that is programmed in the C language. Likewise, the problem of the nesting algorithm is solved, which is the fundamental process to optimize the cutting of material.

The result is an efficient control system for CNC machines with CO₂ lasers, which will enhance the quality and efficiency of acrylic cutting, reducing the time and expenses associated with production.

Keywords: Microcontroller, Acrylic, Optimization, Control

Índice

	Pág.
Resumen	v
Abstract.....	vi
Introducción	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	2
1.2.1 Problema general.....	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Objetivos del estudio.....	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Antecedentes referenciales.....	6
1.4.1 Antecedentes internacionales	6
1.4.2 Antecedentes nacionales	9
1.4.3 Antecedentes locales	12
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	13
2.1 Marco teórico.....	13
2.1.1 Acrílico.....	13
2.1.2 Láser de CO ₂	14
2.1.3 Máquina láser de CO ₂	15
2.1.4 Lenguaje de la máquina láser de CO ₂	16
2.1.5 Motor paso a paso.....	16
2.1.6 Sistema de control.....	18
2.1.7 Modulación por ancho de pulso	19
2.1.8 Microcontrolador ATmega328P	20

2.1.9 Sensores	21
2.1.10 Softwares	23
2.1.11 Algoritmo de anidamiento	24
2.2 Marco conceptual	25
2.2.1 Diseño de control	25
2.2.2 Optimización.....	25
2.2.3 Láser de CO ₂	25
2.2.4 Acrílico.....	25
Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de variables	26
3.1 Formulación de hipótesis	26
3.1.1 Hipótesis general.....	26
3.1.2 Hipótesis específicos.....	26
3.2 Operacionalización de variables	26
3.2.1 Variable independiente general	26
3.2.2 Variable dependiente general	26
3.2.3 Variable independiente específico	26
3.2.4 Variable dependiente específico	26
Capítulo IV. Metodología de la investigación.....	27
4.1 Tipo y diseño de la investigación	27
4.1.1 Tipo de investigación.....	27
4.1.2 Diseño de la investigación	27
4.2 Unidad de análisis	27
4.3 Matriz de consistencia.....	29
Capítulo V. Desarrollo de la investigación.....	30
5.1 Determinación del sistema cinemático en la máquina CNC	30
5.1.1 Determinación del motor paso a paso	30
5.1.2 Determinación del driver del motor paso a paso	32
5.1.3 Diagrama de control de motor paso a paso.....	33

5.1.4	Esquema electrónico del motor paso a paso y el driver	33
5.2	Determinación del tubo láser de CO ₂	40
5.3	Determinación de la fuente del tubo láser de CO ₂	42
5.4	Diseño del sistema de ventilación.....	43
5.4.1	Cálculo y control de los ventiladores.....	44
5.4.2	Circuito de aislamiento lógico/potencia	49
5.5	Selección de sensores de proximidad.....	50
5.6	Diseño de la fuente.....	53
5.6.1	Convertor DC/DC.....	53
5.6.2	Filtro EMC.....	54
5.6.3	Circuito de filtro.....	56
5.7	Firmware.....	58
5.7.1	Configuración de GRBL.....	59
5.8	Selección del entorno de desarrollo	62
5.9	Selección de software de anidamiento.....	63
5.10	Diagrama de bloques del circuito electrónico.....	63
5.11	Esquema electrónico general.....	66
5.12	Diseño 3D de la tarjeta de control.....	66
	Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados.....	68
6.1	Análisis de la optimización de corte	68
6.2	Análisis de reducción de desperdicio	75
6.3	Costo de la tarjeta de control.....	77
6.4	Análisis de simulación de la tarjeta de control	78
	Conclusiones.....	81
	Recomendaciones	82
	Referencias bibliográficas.....	83
	Anexos	89

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Matriz de consistencia	29
Tabla 2: Características técnicas del motor 57CM23-3A	31
Tabla 3: Configuración de corriente dinámica según el switch	35
Tabla 4: Configuración de micro pasos según switch	37
Tabla 5: Características del tubo láser de CO ₂ modelo C45	42
Tabla 6: Características de los modelos de fuente del tubo láser de CO ₂	43
Tabla 7: Parámetros fundamentales para selección del sensor de proximidad ...	51
Tabla 8: Características de selección de sensores de proximidad inductivo.....	52
Tabla 9: Características eléctricas del sensor PL-05N	53
Tabla 10: Valores recomendados por el fabricante	55
Tabla 11: Consumo de corriente del sistema	56
Tabla 12: Selección del firmware.....	58
Tabla 13: Configuración de GRBL con los pines del ATmega328P	59
Tabla 14: Selección del software de programación del ATmega328P	62
Tabla 15: Selección de software de anidamiento	63
Tabla 16: Moldes de acrílico.....	68
Tabla 17: Moldes de acrílico en software inkscape	69
Tabla 18: Anidamiento de los moldes de acrílico en software de anidamiento	72
Tabla 19: Tiempo y corte realizado por operario por cada molde	73
Tabla 20: Simulación del tiempo que se toma para cortar cada molde.....	74

Tabla 21: Comparación de tiempo de corte por pieza	75
Tabla 22: Comparación piezas por plancha	76
Tabla 23: Comparación de desperdicio	76
Tabla 24: Componentes de la tarjeta de control	77

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1: La gran brecha y las olas de cambio tecnológico	1
Figura 2: Ranking en la preparación para tecnologías de frontera.....	1
Figura 3: Trazado del molde en la plancha de acrílico.....	3
Figura 4: Corte de la mica de acrílico	3
Figura 5: Rayadura en la plancha de acrílico	4
Figura 6: Ruptura de la mica no requerida	4
Figura 7: Residuo del material de acrílico.....	5
Figura 8: Plancha acrílica.....	13
Figura 9: Tubo láser de CO ₂	15
Figura 10: Máquina láser de CO ₂	15
Figura 11: Modulación de ancho de pulso (PWM)	19
Figura 12: Microcontrolador ATmega328P	20
Figura 13: Diagrama de bloques del ATmega328P	21
Figura 14: Sensor de proximidad	23
Figura 15: Proceso de anidamiento.....	24
Figura 16: Área de trabajo para el corte de acrílico	28
Figura 17: Máscara larga del modelo doble mica	28
Figura 18: Motor paso a paso 57CM23-3A.....	31
Figura 19: DriverDM542 para motor paso a paso.....	32
Figura 20: Diagrama de control de los motores paso a paso.....	33

Figura 21: Diagrama eléctrico del motor paso a paso 57CM23-3A.....	34
Figura 22: Selección de los switches del driver	34
Figura 23: Posición de los switches del driver	36
Figura 24: Diagrama de funcionamiento PUL-DIR-ENA	38
Figura 25: Conexión de la tarjeta de control con el driver DM542.....	39
Figura 26: Diagrama electrónico del driver y de los motores paso a paso	39
Figura 27: Selección del material acrílico	40
Figura 28: Gráfica de las curvas características de salida del MOSFET.....	46
Figura 29: Circuito para el control de los ventiladores	49
Figura 30: Esquema completo del sistema de ventilación	50
Figura 31: Conversor DC/DC	54
Figura 32: Circuito de filtro EMC	55
Figura 33: Circuito de filtrado	57
Figura 34: Diseño esquemático de la fuente de alimentación.....	57
Figura 35: Diagrama de bloques de la máquina CNC.....	64
Figura 36: Diagrama de funcionamiento de la tarjeta de control.....	64
Figura 37: Diagrama de flujo de funcionamiento de la maquina CNC.....	65
Figura 38: Esquema electrónico.....	66
Figura 39: Diseño 3D de la tarjeta de control	67
Figura 40: Creación de los proyectos para cada molde.....	70
Figura 41: Definir la cantidad de piezas por plancha	70
Figura 42: Definir el tamaño del acrílico	71

Figura 43: Opciones de anidamiento.....	71
Figura 44: Configuración de potencia y velocidad	73
Figura 45: Simulación de salidas de la tarjeta de control.....	78
Figura 46: Simulación de control PWM del láser	79
Figura 47: Medición de la señal de control PWM del láser	79
Figura 48: Medición de la señal PUL+_X del motor X	80
Figura 49: Medición de la señal PUL+_Y del motor Y	80

Introducción

En la presente tesis se describe que existe una variedad amplia de máquinas CNC de CO_2 y cada una de estas incluyen un determinado microcontrolador y si se requiere ampliar o modificar el código no se obtendrá acceso a ello ya que para el fabricante es confidencial, es por ello que en la siguiente tesis se muestra el diseño de control de una máquina CNC de CO_2 utilizando un microcontrolador ATmega328P que se realiza en el firmware GRBL ya que es de acceso libre. Este diseño de control se realiza con el programa Arduino IDE (Entorno del desarrollo integrado).

En el capítulo I se presentan las generalidades, descripción del problema, objetivos de la tesis, objetivo general, objetivos específicos, hipótesis y antecedentes.

En el capítulo II se describen como marco teórico las características del láser de CO_2 , también se analiza al microcontrolador ATmega328P y a los parámetros del código GRBL a usarse. Además, se tiene al marco conceptual.

En el capítulo III se presenta el desarrollo del trabajo de tesis, en el cual se describe el diseño del controlador en el cual el diseño esquemático y simulación se realiza en software Proteus, además se realizan pruebas de simulación del ancho de pulso modulante (PWM), posteriormente se realiza el diseño del molde del acrílico en AutoCAD para aplicar el algoritmo de anidamiento en el software Inkscape.

En el capítulo IV se analizan las gráficas PWM y la disminución de los desperdicios en el corte de acrílico.

Por último, se expresan las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos de la presente tesis.

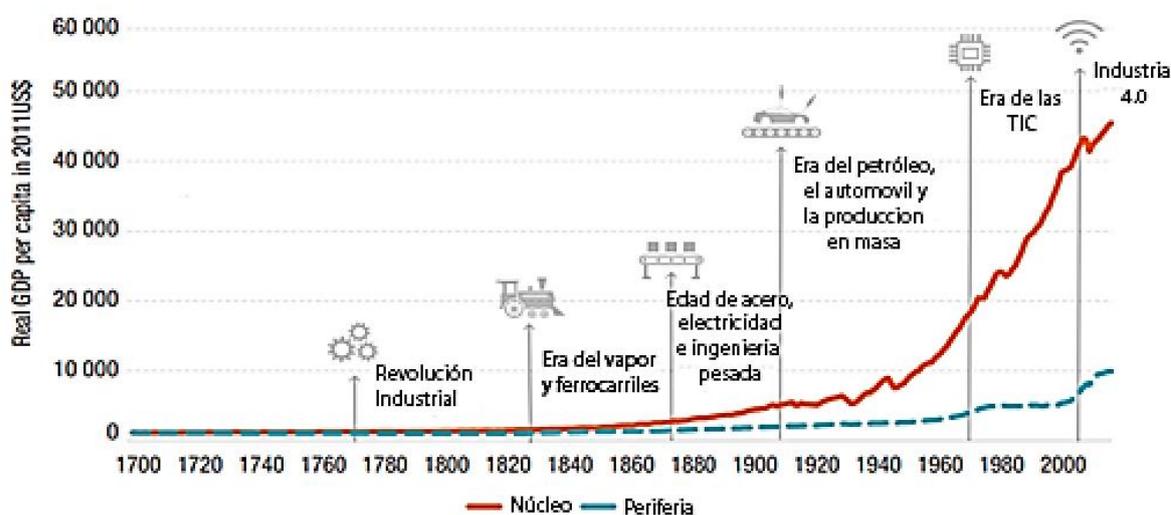
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La tecnología en conjunto con los procesos industriales está evolucionando con la innovación de los dispositivos tecnológicos (UNCTAD, 2018) cómo se visualiza en la Figura 1.

Figura 1

La gran brecha y las olas de cambio tecnológico



Nota: fuente UNCTAD (2018) “Cambio tecnológico y desigualdad a lo largo del tiempo” (El núcleo es respecto a el occidente y ramificaciones de Europa).

El cambio tecnológico está en aumento en todo el mundo, sin embargo, el Perú tiene un nivel medio bajo para la preparación de tecnologías como se muestra en la Figura 2.

Figura 2:

Ranking en la preparación para tecnologías de frontera.

Nombre del país	Puntaje total	Clasificación total	Grupo de puntuación	Ranking ICT	Clasificación de habilidades	Clasificación R&D	Clasificación de industria	Clasificación de finanzas
Peru	0,36	89	medio-bajo	102	72	70	134	83

Nota: fuente UNCTAD (2018) “Ranking en la preparación para tecnologías de frontera (El nivel es medio bajo).

En América latina existe una realidad crítica en la economía y esto afecta a las MiPymes (micro, pequeñas y medianas empresas). El personal de las MiPymes requiere de una alta capacitación en tecnología ya que con las limitaciones que presenta no son competitivos y les afecta en el crecimiento empresarial (látina, 2018).

El mercado peruano carece del desarrollo de la tecnología en microcontroladores a pesar de que implica una gran importancia en la industria de la automatización (Carrion, 2020).

1.2 Descripción del problema de investigación

En la industria de las máquinas de CNC láser de CO₂ los controladores existentes presentan como problemática que las empresas que se dedican a la realización de sus tarjetas de control presentan una tecnología con patente por ende no es de libre acceso para las modificaciones que se requiera incorporar, además que son controladores genéricos diseñados para sus máquinas láser; además las máquinas de CNC láser de CO₂ se encuentra expuesto a una alta variación de temperatura y este aumento de la temperatura genera recalentamiento en el tubo láser y afecta a los componentes del sistema (Mata, 2023).

En la industria que se dedica a la fabricación de vehículos menores se requiere la utilización de acrílico para emplearlo como ventanas laterales en la estructura de la máscara o parabrisas. La industria de vehículos menores consta de varias áreas, sin embargo, se estudia el área que se dedica a realizar el enmocado, para ello primero pasa por el proceso de la obtención del molde, luego con el molde se realiza el trazado en la plancha de acrílico como se ilustra en la figura 3.

En el proceso de trazado de la plancha de acrílico surgen inconvenientes ya que el mínimo movimiento del molde, genera rayaduras externas o rayaduras internas de las cuales genera como problemáticas una gran pérdida de material, cabe resaltar que las rayaduras son irreparables.

Figura 3:

Trazado del molde en la plancha de acrílico.

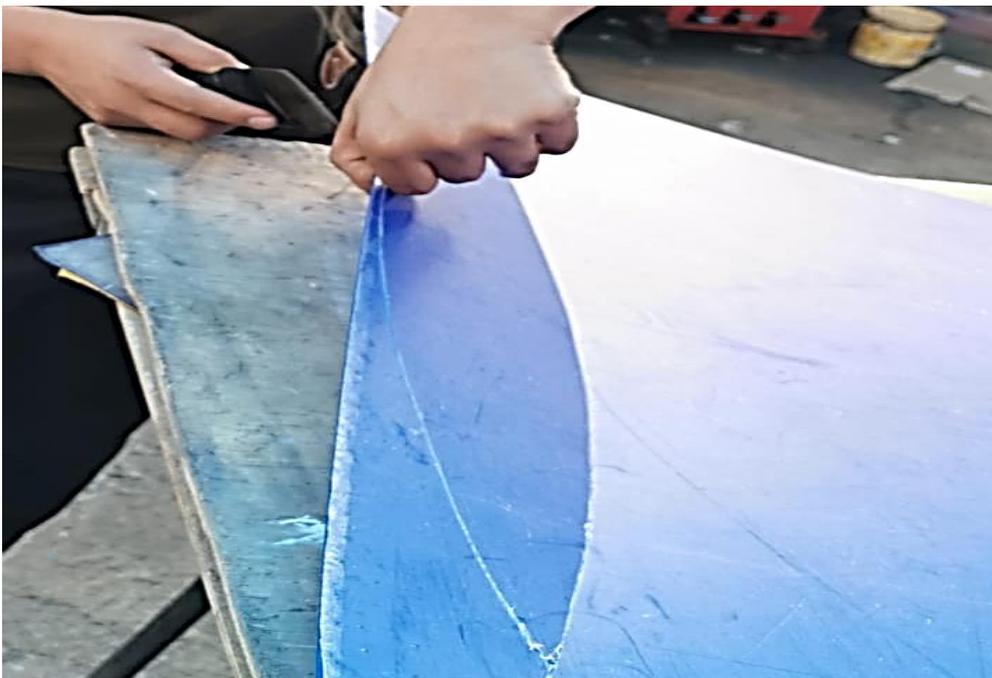


Nota: La imagen representa al proceso de trazado. Fuente propia.

Después de realizado el proceso de trazado, se realiza el corte de acrílico con una espátula para cortar el acrílico como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Corte de la mica de acrílico



Nota: La imagen representa el proceso de corte. Fuente propia

En la figura 5 se ilustra un error de una rayadura externa producto de una desviación del proceso de trazado.

Figura 5:

Rayadura en la plancha de acrílico.



Nota: La imagen representa una desviación en el trazado. Fuente propia

Otro error al realizar en el proceso de corte es producto a un impreciso enmarcado y esto origina una desviación en el corte de la mica por consecuencia se produce una ruptura incorrecta como se muestra en la figura 6.

Figura 6:

Ruptura de la mica no requerida.



Nota: La mica se encuentra incorrectamente cortada en la parte superior. Fuente propia

En el proceso del corte de acrílico se produce residuos del material y esto es producto de un desperfecto de moldeo producido por una incorrecta alineación.

Figura 7:

Residuo del material de acrílico



Nota: La imagen representa exceso de desperdicios. Fuente propia

1.2.1 Problema general

- ¿En qué medida el diseño del sistema de control de una máquina CNC láser de CO₂ facilita la optimización del corte de acrílico?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida el diseño de un controlador para una máquina CNC láser de CO₂ permite la optimización del corte de acrílico?
- ¿En qué medida el algoritmo de anidamiento reduce el desperdicio del acrílico?
- ¿En qué medida la simulación del controlador permite demostrar la fiabilidad del sistema?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar un sistema de control de una máquina CNC láser de CO₂ utilizando uC ATmega328P para optimizar el corte de acrílico.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un controlador para una máquina CNC láser de CO₂ que optimice el corte de acrílico.
- Seleccionar un algoritmo de anidamiento que reduzca el desperdicio de acrílico.
- Evaluar la simulación del controlador que demuestre la fiabilidad del sistema.

1.4 Antecedentes referenciales

Se han realizado varias investigaciones relacionadas al objeto de estudio tanto nacionales como internacionales del tema propuesto para así obtener información del objeto de estudio, los cuales se describen a continuación:

1.4.1 Antecedentes internacionales

- José Gabriel Arpi Trujillo, Diego Román Cabrera Mendieta (2013) "Implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser"

Los autores plantean realizar un sistema de control para ello inician analizando el desarrollo de las máquinas CNC láser en el comercio y en la industria para que de esa manera se tenga el conocimiento de la ubicación de los componentes mecánicos y de la composición de la estructura, además analizando las necesidades que presenta cada usuario al utilizar la máquina CNC láser.

Los autores necesitan de un procesador que incluya un sistema operativo Linux y una tarjeta PCI que presenten características compatibles con la máquina CNC láser

además que sea veloz; esto es debido a que los datos se transmiten mediante una interfaz a los drivers de los motores; cabe resaltar que cada driver es independiente para cada actuador ya que es más factible realizar una configuración para cada micro paso y de esa manera se obtiene un sistema con mayor precisión, cabe enfatizar que se requiere de un controlador para regular la potencia del láser que realiza mediante una fuente láser.

Los autores requieren realizar módulos y para ello unen bloques como de la tarjeta de control y del procesador es así como se genera el módulo de control; de la misma forma se obtiene el módulo de actuador y potencia.

Los autores realizan el análisis cinemático que es el estudio del sistema cartesiano en el eje de dos dimensiones y el estudio del sistema de transmisión; posteriormente los autores realizan los algoritmos de control para ello se realiza trayectorias diferentes para su generación, además se realiza en el lenguaje G.

Los autores realizan un protocolo de comunicación donde eligen a bus PCI ya que tiene como característica que las transferencias lo realiza a velocidades muy altas además que lo realiza de forma síncrona. Los autores realizan pruebas al sistema donde se ejecutan una lectura de un archivo donde se inserta la potencia y velocidad para que realice el corte para ello se realiza las pruebas en movimientos lineales y circulares.

Los autores concluyen que el sistema Linux garantiza un correcto funcionamiento ya que no existe interrupciones, además que la programación más práctica para el sistema es en el lenguaje C.

- Renato Joaquín Carvajal Cabrera (2018) "Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial MOYA HNOS"

El autor tiene como objetivo realizar una máquina CNC plasma, la investigación tiene como metodología realizar la selección de distintas alternativas en el sistema de guiado, en el sistema de potencia, en el sistema de transmisión; la selección es en base a los criterios de precisión, eficiencia, costo, fricción, velocidad y costo. El autor realiza los cálculos para el eje X, eje Z y eje Y, además analiza los esfuerzos en el diseño de la mesa de trabajo evaluando las deformaciones y el pandeo.

El autor enfatiza en el sistema de control utilizando los motores pasos a paso que tiene una resolución de 1.8, además la tarjeta de control posee 4 grados de libertad, además de 16 puertos de entrada y 8 puertos de salida. En la interfaz utiliza match 3 que es un software libre. En las pruebas del sistema de control se realiza un diseño en el software CAM y se exporta para obtener el código G en el software Estlcam, se inserta la velocidad de acuerdo con el espesor que requiere la pieza y posteriormente el programa se exporta a Mach 3 y el programa se ejecuta.

En el proceso del sistema de control para la CNC de plasma se encuentra compuesto por actuador, control, sensor, planta y set point.

El autor culmina realizando el manual de uso y el manual de montaje, además presenta las medidas de seguridad.

El autor concluye que la máquina corta un espesor de 12.7mm como máximo, además menciona que los parámetros importantes es el tipo y espesor del material. El autor recomienda realizar dos modelos de agarre para antorcha y que antes de realizar el corte previamente se realice una simulación.

- José Refugio Villaseñor Salvatierra (2020)“Equipo para marcado y corte de materiales con tecnología láser y plasma”

El autor requiere realizar el diseño de una máquina CNC de tres dimensiones y a una potencia máxima de 5.5 W que realice el proceso de grabado. Para realizar el control utiliza un Open Source que es un software; además la interfaz se encuentra constituido por la tarjeta de Shield, la tarjeta de Arduino Uno, también está constituido por fuentes de voltajes; cabe resaltar que las señales de control se encuentran a 50 Hz máximo.

El autor realiza el sistema electromecánico donde se realiza en tres dimensiones y el sistema de transmisión está conformado por un tornillo, además para realizar el movimiento se requiere de un motor paso a paso.

El autor utiliza como software diseño a Inkscape ya que presenta un código abierto y las imágenes son modificables vectorialmente, además el mencionado programa tiene la capacidad de convertirlo al código G.

El autor realiza las pruebas de marcado de un caballito de 3 mm para los distintos materiales como fomi, fieltro, cartón, acrílico y madera donde se obtiene, marcados de calidad y precisos; cabe resalta que para visualizar la trayectoria el autor implementa un filtro de luz.

El autor concluye realizando un prototipo de máquina CNC en base a la normativa nacional y en base a los estándares internacionales.

1.4.2 Antecedentes nacionales

- Alonso Ricardo Pérez Espinoza (2015)“Diseño de una cortadora CNC de CO₂ para acrílicos y madera”

El autor parte del requerimiento de una máquina CNC láser que resulte ser económica, segura y silenciosa de tal manera que la máquina realice corte de acrílico y madera. Los requerimientos mecánicos para la realización de la máquina CNC es posea una capacidad de realizar el corte de 1m x 1m con espesor máximos para madera de 5 mm y con espesor máximo para acrílico de 8 mm, además que el corte se realice a una velocidad máxima de 80 mm/s. Los requerimientos electrónicos consisten en que el láser posea una máxima potencia de 60 W. Los requerimientos de control son realizando algoritmos de CNC, además que se requiere que tenga compatibilidad con Corel Draw y Auto CAD.

El autor utiliza la conexión menos costosa que es la de puerto serial, además que la programación es factible y no existe los problemas en la comunicación, otra de sus ventajas es que utiliza una tarjeta de Arduino donde se encuentra un microcontrolador Atmega ya que el código es abierto.

El autor realiza los cálculos para la selección de cada componente como el tubo láser, espejos, enfriador, motores. Además, realiza el diseño mecánico, el diseño electrónico, el esquema del controlador y el diagrama de flujo.

El autor concluye que el costo de la máquina disminuyó donde se tiene una satisfacción mediana, ya que redujo costos en los componentes mecánicos, electrónicos y ópticos; sin embargo, algunos productos como el chiller se importó y eso produjo el aumento en el costo hasta el 25%, cabe resaltar que el autor seleccionó componentes que resistan a temperaturas altas.

- Luis Michael Arias Delgado (2019)“Diseño y fabricación de una máquina CNC de corte láser multipropósito”

El autor inicia analizando la problemática donde existen muchas empresas con escasez de máquinas modernas por ende su producción es muy limitada, es por ello que la investigación tiene como objetivo disminuir los tiempos y costos en la construcción de la máquina CNC que presenta un área de trabajo de 24 cm x 16 cm.

En el modelamiento mecánico se realiza a un sistema cartesiano en tres dimensiones, para realizar el movimiento utiliza un motor paso a paso ya que presenta como característica un alto torque y sobre todo que es preciso. El autor realiza los cálculos para el carril en el eje X y el eje Y para posteriormente simular los esfuerzos de la estructura.

EL autor utiliza perfil de aluminio, tornillo sin fin, acople CNC, eje acerado, rodamientos. En el diseño electrónico se utiliza la tarjeta Shield y el driver que se utiliza de acuerdo a su factibilidad de controlar la velocidad y el giro del motor paso a paso es el driver A4988. El microcontrolador presenta una frecuencia de trabajo como mínimo de 8MHz, cabe resaltar que la tarjeta es Arduino UNO y la plataforma es OPEN SOURCE, además se utiliza el software Laser GRBL.

El autor realiza ejecuta pruebas con un láser de 300 mW para que así valide el funcionamiento de la máquina para ello previamente realizó una calibración, luego de realizar las pruebas obtiene que las respuestas de carga son rápida y precisas ya que lo cortado fue medido con escuadras y se observa las mismas dimensiones de diseño. El

autor concluye que la máquina es funcional y se valida el objetivo de la optimización de procesos.

- Pedro Elías Alvan Millones y José Inocencio Zegarra Calderón (2021) “Diseño de sistema integrado CNC para reducir tiempos de fabricación y espacio de procesos en la empresa Gami SAC Trujillo”

La siguiente investigación se realiza una máquina CNC donde tiene la capacidad de intercambiar los cabezales. La metodología de investigación es aplicada, descriptiva, deductiva y no experimental.

Los autores tienen en consideración las normas de diseño ISO 12100 y la norma ISO 13850, además realizan cuatro conceptos donde diseñan diferentes tipos de láser y de acuerdo al criterio de flexibilidad, seguridad, mantenimiento, dimensiones, costo realiza una matriz para que analice la alternativa correcta; de la misma manera realiza las comparaciones en la configuración del diseño.

Los autores evalúan el cálculo de las cargas para el fresado y taladrado; además realiza el diseño paramétrico y el diseño del soporte para las tres dimensiones, los autores seleccionan guías lineales, husillo de bolas, rodamientos lineales, rodamientos radiales, cabezales de impresión, cama de impresión, componentes electrónicos. Los autores realizan el análisis de la ocupación de espacio de la máquina de las cuales observan que el espacio ahorrado es de la tercera parte.

Los autores concluyen realizando una máquina que consta de tres cabezales diferentes donde tiene la capacidad de cortar, fresar e imprimir en 3D de tal manera que resulta ser beneficioso ya que el área a ocupar ha disminuido, además se culmina con los planos de la máquina integrada y obteniendo un presupuesto de costos de la máquina CNC. Por último, los autores recomiendan selecciona guías lineales del modelo MGH para garantizar una mayor vida útil.

1.4.3 Antecedentes locales

- Raúl Aurelio Medrano Tantaruna (2005) “Reemplazo del sistema analógico de control de maquinado de un torno vertical de tres ejes, por un sistema computarizado de control CNC”

El autor tiene como objetivo implementar la tecnología de una máquina CNC en la industria metal mecánica para que de esa manera la industria oferte una mejor calidad en sus productos y disminuya la intervención constante del operario, además que presenta una ventaja de que el sistema presenta una menos cantidad de fallas y el mantenimiento es menos costoso; para ello requiere de una actualización del sistema y aplicar el mantenimiento menos costoso que es el preventivo.

El autor realiza un análisis de la máquina en las diferentes etapas de control y en la etapa mecánica e hidráulica, de acuerdo al análisis se requiere sustituir las tarjetas electrónicas que cuentan con un control analógico por una lógica de relés. Además, se implementan los ENCODER que son unos sensores actualizados.

Al seleccionar el equipo PLC se requiere analizar el tiempo de barrido ya que como máximo debe ser 25ms, análisis de la compatibilidad electromagnética, memoria, lenguaje de programación; es así como se selecciona el PLC de la marca Siemens. La instalación de los componentes electrónicos se requiere que la temperatura sea menor a 5°C.

El autor elige el tipo de CNC que requiere y de acuerdo a ello procede a realizar la instalación, además indica ciertos criterios para el buen uso de la máquina y realiza el análisis de costo y beneficio. Se tiene que el retorno de inversión estimado es de 19 meses.

El autor concluye que es necesario realizar un estudio comparativo para la selección de PLC o CNC para así dar una mejor opción al momento de que se realice una inversión.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

En el capítulo actual se determina los conceptos teóricos que se requiere para el desarrollo del diseño del control de una máquina CNC láser CO₂

2.1 Marco teórico

2.1.1 Acrílico

La plancha de acrílico o también llamada mica acrílica está compuesto por el polímero de metilmetacrilato que tiene como característica ser incoloro y resistente a los agentes químicos y atmosféricos. Las medidas de la plancha de acrílico son de 1.20 x 2.40m y de espesor 1.5 mm. Los colores más comerciales de la plancha acrílica son azules, rojo, negro y transparente. La ficha técnica se visualiza en el anexo 1 (S.A., 2022).

Figura 8:

Plancha acrílica.



Nota: La imagen representa una plancha acrílica de color azul. Fuente propia

2.1.2 Láser de CO₂

El láser es una luz originada por la emisión de una radiación y la energía del láser es variable y ello se evidencia en el espectro electromagnético. El láser de CO₂ utiliza como medio activo a una mezcla de helio, nitrógeno y dióxido de carbono. El gas de nitrógeno es utilizado para que exista una transferencia de energía y el gas de helio permite en realizar una transferencia de calor mucho más rápida. El láser de CO₂ emite ondas continuas (Bilmes, 1992).

El láser de CO₂ está compuesto por átomos que tienen un mayor grado libertad comparándolo cuando los átomos se encuentran independientemente es decir que cuando los átomos se encuentran formando una molécula tienen la capacidad de girar, vibrar, rotar. Cuando se realiza las transiciones en los niveles de la molécula de CO₂ emiten 10.6 um (Benjamin Alonso, 2010).

AL realizar el corte con un láser de CO₂ requiere evaluar al parámetro de potencia, al parámetro de velocidad, como también a la medida del punto. Es importante resaltar que también se analiza el espesor del material. Con respecto a la medida del punto se encuentra relacionado con el diseño de la máquina ya que depende de la ubicación de los espejos y el lente focal. La medida del ancho del punto de corte es directa proporcional con la potencia del láser (Mazumder, 2010).

La potencia del láser también se encuentra relacionado con la temperatura ya que es directamente proporcional, esto ocurre debido a que la energía suministrada se convierte en calor y el exceso de calor resultante provoca daños en el tubo láser, lo que afecta su rendimiento, por consiguiente, se requiere de una regularización del control de la temperatura para obtener una estabilidad en el generador del láser (María, 1973). En la figura 9 se visualiza un tubo láser de CO₂.

Figura 9:

Tubo láser de CO₂.



Nota: La imagen representa a un tubo láser de CO₂. Tomado de la marca RECI (2022) "Tubo láser de CO₂"

2.1.3 Máquina láser de CO₂

Los componentes que conforman la máquina CNC láser de CO₂ es fundamental para el diseño mecánico, para llevar a cabo los movimientos se requiere una tarjeta de control encargada de regular la potencia, velocidad y posición (Carchipulla, 2023).

La máquina láser de CO₂ se caracteriza por su capacidad para realizar cortes en material no metales y presenta un alto nivel de precisión, cabe resaltar que la máquina CNC está conformado por extractor de humo (Ana Pamela Castro Martin, 2015).

Figura 10:

Máquina láser de CO₂.



Nota: La imagen representa un láser de CO₂. Tomado de fabricación de maquinaria de Jinan Jinshengxing (2012) "Maquinado de grabado láser CO₂ 1525"

La máquina CNC láser de CO_2 requiere de una fuente que su elección depende de la potencia del tubo láser, la fuente láser tiene como objetivo realizar la excitación del medio activo del tubo láser, para ello las fuentes como toda máquina requiere de mantenimiento (TEYU, 2021).

2.1.4 Lenguaje de la máquina láser de CO_2

La máquina CNC láser se utiliza el lenguaje de código G y el lenguaje del código M con el primer código se realiza los movimientos del cabezal, velocidad y con el segundo lenguaje se realiza las instrucciones como encender y apagar la máquina CNC láser. Como ejemplo se tiene que el código G00 se utiliza movimientos en alta velocidad, el código G01 realiza el avance del láser a una programación de la velocidad, el código G21 se utiliza para poner las unidades en milímetros. Con respecto al lenguaje del código M, se utiliza M03 para encender el láser y el código M05 es para apagar el láser (CAJAMARCA NAULA JUAN DIEGO, 2017).

La realización del procesamiento para el mecanizado para ello se inicia con el diseño CAD y luego es exportado a CAM, posteriormente se realiza pruebas de simulación, una vez que se ha verificado su exactitud se produce el código G listo para su carga en el software de la CNC, por último, se consigna los parámetros y los límites para la utilización de la máquina (Carlos Augusto Ramos Jaramillo, 2021).

2.1.5 Motor paso a paso

Los motores paso a paso, cuentan con la capacidad de ser controlados y de obtener movimientos discretos, los movimientos discretos consisten en realizar desplazamiento al modificar el código. Existen una variedad de motores paso a paso, como son los motores paso a paso híbridos que tienen la característica que se utilizan a velocidades altas, otro tipo de motor paso a paso es del tipo unipolar es más factible de controlar, además, los

motores presentan de 5 a 6 cables de salidas, otro motor paso a paso es del tipo bipolar con 4 cables de salidas (París, 2000).

Los motores híbridos son la combinación de los motores con imanes permanente y los motores de reluctancia variable, esto es respecto a sus características constructivas. Los motores paso a paso de tipo híbridos proporcionan velocidades y pares estáticos como dinámicos muy elevados, esto es producto de que existe un imán dentro del rotor; además presenta una mejor resolución (microPaP, 2006).

Los motores paso a paso presentan diferentes tipos de conexiones, entre ellas se tiene la conexión unipolar que consiste en que la corriente se direcciona en un solo sentido en cada devanado; sin embargo, la corriente no circula simultáneamente en todos los devanados, es por ello que el par proporcionado por el motor es reducido y con referente a la conexión bipolar se tiene que la corriente cambia de sentido, de acuerdo a las variaciones que se realice en el controlador (microPaP, 2006).

Los motores paso a paso de tipo unipolar son más económicos y más factibles de controlar comparándolo con el tipo de motores paso a paso bipolar; sin embargo, el esfuerzo soportable por los motores paso a paso unipolares es menor que los motores paso a paso bipolares. Los motores paso a paso bipolares son utilizados por su gran rendimiento (Nestor, 2006).

Con los drivers se realizan el control de los motores paso a paso donde está compuesto por la etapa de potencia y generador de pulsos secuenciales. Se requiere que los drivers y los motores paso a paso sean coincidentes. Los drivers deben tener la capacidad de proporcionar la corriente suficiente, además de presentar una compatibilidad electrónica y un limitador de corriente. Los drivers digitales están compuestos por sensores y son importantes para la conversión de señales (microPaP, 2006).

2.1.6 Sistema de control

El sistema de control proporciona indicaciones a la máquina utilizando el código G. Existen diferentes tipos del sistema de control de acuerdo al número de ejes, bucle de control y tipo de movimiento. Con respecto al número de ejes se divide en dos, tres, cuatro y cinco ejes. De acuerdo al tipo de movimiento se tiene al sistema punto a punto y al sistema de contorneado, además el sistema de control se divide de acuerdo al tipo de lazo de control que se divide en lazo abierto y bucle cerrado (Lema, 2015).

El sistema de control de acuerdo al tipo de lazo abierto consiste en el uso de los motores paso a paso y se tiene que la posición final se deduce a partir de los pulsos que se envían del controlador esto es producto a que no se obtiene ninguna retroalimentación es por ello es al realizar las inferencias existen un rango de error. El sistema de control de lazo abierto está constituido por el elemento de control, elemento de corrección y el proceso (Plata, 2013).

En referencia al elemento de control consisten en el procesamiento de las señales en la posición de inicios, con respecto al elemento de corrección que consiste en realizar cambios y en el proceso se tiene todas las características del proceso. Además, se tiene como principales ventajas que el sistema de lazo abierto es más factible de implementar, es más económico y necesitan de un mantenimiento mínimo (Mario Alberto Perez, 2007).

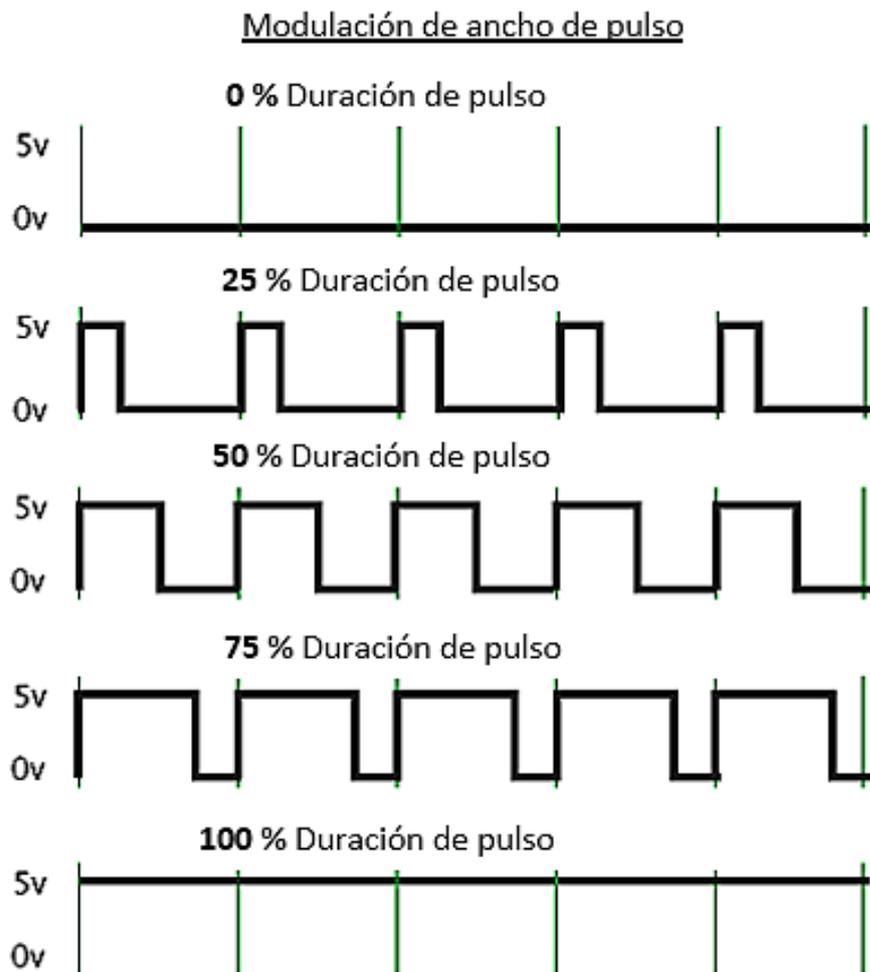
El sistema de control de acuerdo al tipo de lazo cerrado y la posición final es retroalimentada, esto es producto que la información se obtiene a través de los sensores. El sistema de control de lazo cerrado está constituido por el elemento de comparación, elemento de medición. El sistema de control de lazo cerrado se caracteriza que la afectación del ruido es mínima, además que presentan la capacidad de admitir automatización en el proceso (Plata, 2013).

2.1.7 Modulación por ancho de pulso

La modulación por ancho de pulso que consiste en transmitir señales digitales o analógicas que presentan la capacidad de ser moduladas sin disminuir su potencia y sin distorsionarse producto de interferencias. De acuerdo al control PWM varía el ciclo periódico de una señal con el objetivo de controlar la energía que es emitida por una carga, además también realiza el control de la velocidad. La utilización PWM es necesario para el sistema de control electrónico y la codificación de la información (Holtz, 2015).

Figura 11

Modulación de ancho de pulso (PWM).



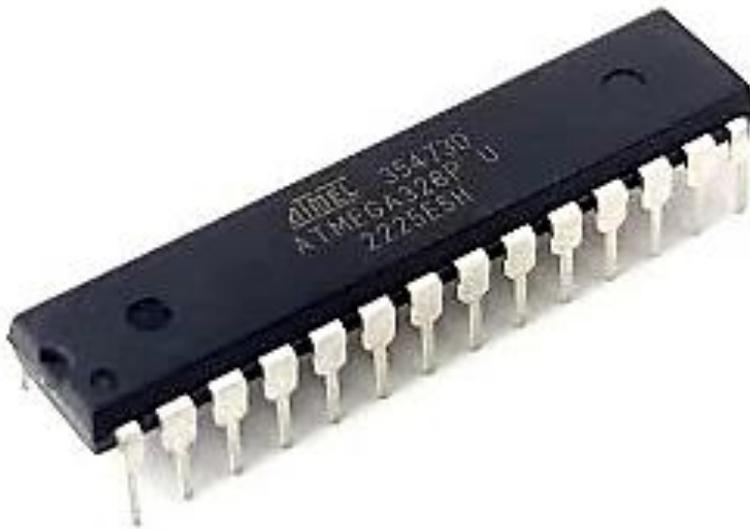
Nota: La imagen representa a la modulación de ancho a diferente porcentaje de duración del pulso. Fuente: Electrotec (2023) "Modulación de ancho de pulso"

2.1.8 Microcontrolador ATmega328P

El microcontrolador ATmega328P presenta un rendimiento muy alto que tiene la capacidad de realizar indicaciones desde un gran alcance, además cuenta con la capacidad de mantener un equilibrio de la velocidad de procesamiento y regulando el consumo de la energía. El microcontrolador ATmega328P presenta un microchip de potencia baja operación del microcontrolador se realiza únicamente en un ciclo de reloj. En la figura 12 se visualiza al microcontrolador ATmega328P (Espinosa, 2021).

Figura 12:

Microcontrolador ATmega328P.



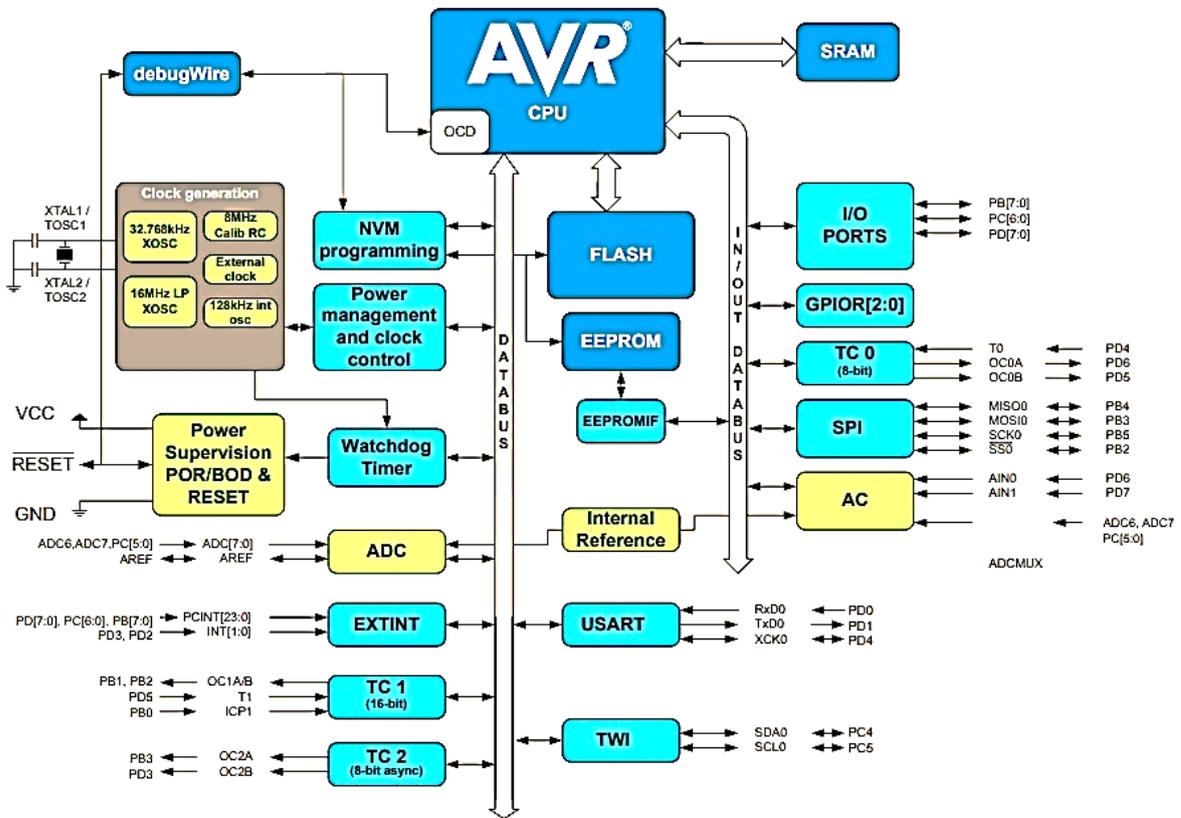
Nota: La imagen representa al microcontrolador ATmega328P. Fuente: Sigma electrónica (2023)“Atmega 328P”

El microcontrolador ATmega328P cuenta con una tensión de funcionamiento 1.8 hasta 5.5 V y el intervalo de temperatura -40 °C – 105 °C. El microcontrolador ATmega328P presenta una arquitectura AVR, 23 pines que se encuentran disponibles y una frecuencia de 20MHz como máximo (Espinosa, 2021).

Los pines del microcontrolador ATmega328P que presentan una salida para el control por modulación por ancho de pulso son PD3, PD5, PD6, PB1, PB2 y PB3. En la figura 2.6 se visualiza el diagrama de bloques del microcontrolador.

Figura 13

Diagrama de bloques del ATmega328P



Nota: La imagen representa al diagrama del controlador ATmega328P. Fuente: Microchip (2015) "Diagrama de bloques"

2.1.9 Sensores

Los sensores son utilizados para percibir la estimulación externa y así realizar mediciones en un área determinada. Existen variedad de sensores, entre ellos se tiene al sensor de proximidad magnéticos, inductivos, capacitivos, fotoeléctrico, ultrasónico. La elección de un sensor de proximidad se tiene en cuenta la distancia requerida para el sensado, las características del entorno donde se realiza la instalación como por ejemplo la temperatura y la humedad, además de considerar las propiedades de la pieza como la forma y su estado físico. El costo del sensor y la tecnología que se necesite, también influye en la elección (Control, 2013).

Los sensores de proximidad capacitivos se caracterizan por tener un alcance menor a 60 mm y detectan a todo tipo de material. El condensador del sensor capacitivo genera

un campo electromagnético, que presenta variaciones en la frecuencia y en la intensidad de corriente cada vez que se le aproxima una pieza, además cuenta con una mayor prolongada vida útil. El tamaño del sensor varía de acuerdo al rango de salida que se requiera (Artaveytia Facundo, 2013).

Los sensores de proximidad inductivos se caracterizan por presentar un alcance menor de 80 mm y detecta a los metales sin realizar contacto. Además, son resistentes y no se alteran con las vibraciones, cabe resaltar que presentan una alta frecuencia. Los sensores inductivos son los más utilizados en la industria (J.M.Vilas, 1970).

Los sensores de proximidad magnético se caracterizan por presentar un alcance menor de 100 mm y detecta a toda pieza con electroimanes e imanes permanentes. Estos sensores no se alteran con la suciedad, sin embargo, los resultados se alteran con la temperatura u otros campos magnéticos. Los sensores magnéticos son utilizados para posicionamiento de material y cuando se detectan un campo magnético cercano entonces se cierra los contactos (García, 2011).

Los sensores de proximidad por ultrasonido se caracterizan por contar con un alcance menor de 15m y detecta a todo tipo de material; sin embargo, existen algunos sensores por ultrasonidos que no detecta a ciertos objetos. Además, presenta una alta frecuencia que es a partir de 20kHz en la recepción de la onda y presenta alteraciones producto a las corrientes de aire y es resistente al polvo (J. Marcos, 2009).

Los sensores de proximidad fotoeléctricos se caracterizan por presentar un alcance menor de 200 m y detecta materiales reflectantes, esto es producto a que detecta el haz de luz reflejada. Estos sensores se caracterizan por su alta potencia y la capacidad de detectar a una larga distancia (Victor Pozo, 2018).

En la figura 14 se visualiza un sensor de proximidad.

Figura 14

Sensor de proximidad



Nota: La imagen representa al sensor de proximidad inductivo. Fuente propia

2.1.10 Softwares

En la realización de tarjeta de control se utiliza diferente software tanto sea en base a CAD y CAM. Los softwares en CAD son utilizados para la creación o edición de gráficas de dos a tres dimensiones, uno de los softwares es Inkscape donde se realiza la edición de los gráficos gratuitamente, además que es código abierto y una alta capacidad para la edición de los vectores. Cabe resaltar que existen otros programas como el AutoCAD que es utilizado para la realización de planos (Monestel, 2012).

Los softwares CAM se utilizan para el control y para la generación del código G y el código M de la máquina CNC y uno de los softwares es LigthBurn, ya que es más práctico en la utilización y en la realización del corte láser. El software LigthBurn presenta la capacidad de optimizar el corte además que presenta mejor estabilidad como también cuenta con una amplia compatibilidad con otros y presenta una interfaz avanzada. Es importante enfatizar que otro software con mayor utilización es el software Laser GRBL ya que permite realizar configuraciones debido a que presenta un código abierto donde el programa se encuentra en desarrollo según se requiera (Francisco André Fernández Santos, 2020).

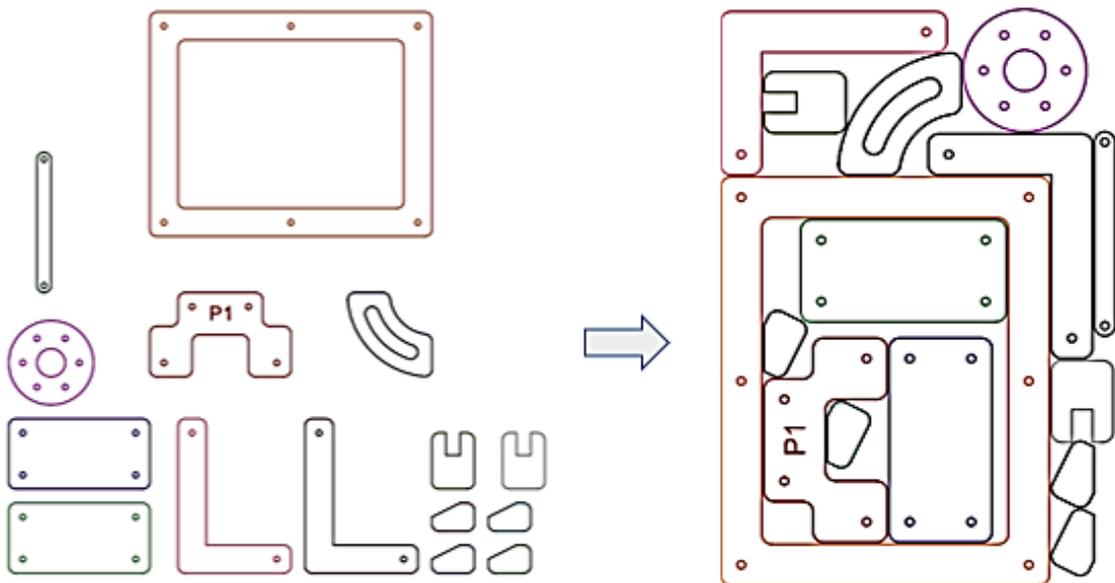
2.1.11 Algoritmo de anidamiento

El algoritmo de anidamiento se utiliza para realizar una colocación eficiente de las piezas en una superficie para que de esa manera optimice el material, para ello el algoritmo de anidamiento realiza diferentes tipos de combinaciones con el objetivo de que la productividad aumente (A.M. Lastres - Aleaga, 2010).

El software Nesting se encuentra constituido por algoritmos que ordenará las piezas de acuerdo a sus dimensiones en los ejes X y en el eje Y, además que realiza las rotaciones de las piezas con la finalidad de ir acoplándolo de acuerdo a la geometría que presente donde coincida la máxima capacidad de perímetro (A.M. Lastres - Aleaga, 2010).

Figura 15

Proceso de anidamiento



Nota: La imagen representa el ordenamiento de las piezas luego de utilizar el proceso de anidamiento Fuente: QCAD.org (2023) "Tutorial anidamiento"

2.2 Marco conceptual

2.2.1 *Diseño de control*

El diseño de control consiste en realizar la estructuración de todo el sistema que se encarga de regular las operaciones que se le indica a la máquina de control numérico computarizado.

2.2.2 *Optimización*

La optimización es un proceso que consiste en realizar las mejoras progresivas donde se aumenta la eficiencia, rendimiento y la calidad, además la optimización consiste en utilizar la mínima cantidad de los recursos; con el objetivo de obtener un mejor funcionamiento del sistema.

2.2.3 *Láser de CO₂*

El láser de CO_2 es un dispositivo que genera un haz de láser donde emplea como medio activo a gas de dióxido de carbono y es utilizado en las máquinas de control numérico computarizado para realizar grabados y cortes en materiales no metales por lo general.

2.2.4 *Acrílico*

El acrílico es un polímero plástico que cuenta como características ser translucido y se visualiza como material en forma de planchas o lámina. El acrílico es utilizado como una mica en la estructura de la máscara de los vehículos menores y entre ellos se tiene a las trimotos de pasajeros.

Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de variables

3.1 Formulación de hipótesis

3.1.1 *Hipótesis general*

Mediante el diseño del sistema de control de una máquina CNC láser de CO₂ utilizando uC ATmega328P se optimizará el corte de acrílico.

3.1.2 *Hipótesis específicos*

- El diseño de un controlador para una máquina CNC láser CO₂ optimizará el corte de acrílico.
- La selección de un algoritmo de anidamiento reducirá el desperdicio de acrílico.
- La evaluación de la simulación del controlador demostrará la fiabilidad del sistema.

3.2 Operacionalización de variables

3.2.1 *Variable independiente general*

- Diseño de máquina CNC láser CO₂

3.2.2 *Variable dependiente general*

- Optimizar corte eficiente de acrílico

3.2.3 *Variable independiente específico*

- El controlador para una máquina CNC láser de CO₂
- Algoritmo de anidamiento

3.2.4 *Variable dependiente específico*

- Corte de acrílico
- Desperdicio de acrílico

Capítulo IV. Metodología de la investigación

4.1 Tipo y diseño de la investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación se obtiene de un análisis de las características epistemológicas donde se obtiene que, de las siete características epistemológicas (objetividad, verificabilidad, universalidad, sistematicidad, reproducibilidad, temporalidad, contextualidad), proporcionar una base para comprender como se construye y valida el conocimiento en diferentes disciplinas cuatro de ellas son cuantitativas y las otras tres son cualitativa es por ello que se tiene una investigación mixta.

4.1.2 Diseño de la investigación

En la presente tesis se tiene que en relación del alcance se obtiene un estudio descriptivo y correlacional. El estudio es descriptivo ya que se constituye en la descripción metodológica para la realización del diseño del control de una máquina CNC láser CO₂. En referencia al estudio correlacional es producto de la utilización de información existente para realizar el diseño del control de una máquina CNC láser de CO₂ donde para ello se utiliza las normativas.

4.2 Unidad de análisis

La presente investigación de tesis se realiza la recopilación de datos y pruebas en la empresa Profesionales Coseca S.A.C que se dedica a la fabricación de los vehículos menores. En la mencionada empresa se recopila información del material del acrílico como las medidas a utilizar y las pruebas respecto el diseño del control de la máquina CNC láser de CO₂; además, la empresa realiza el proceso de ensamblando como también el proceso enmicado se realiza manualmente como se visualiza en la figura 16, sin embargo, el corte

del material acrílico se requiere realizarlo en una máquina de control numérico computarizado láser de CO₂.

Figura 16

Área de trabajo para el corte de acrílico



Nota: La imagen representa a el área de se realiza el proceso de corte del acrílico. Fuente: Profesionales Coseca S.A.C (2023) "Área de trabajo para el corte de acrílico"

El corte realizado en la figura 16 se instala en la máscara fabricada por la empresa Profesionales Coseca S.A.C como se visualiza en la figura 17.

Figura 17

Máscara larga del modelo doble mica



Nota: La imagen representa una máscara doble mica enmicada con acrílico. Fuente propia

4.3 Matriz de consistencia

“Diseño del sistema de control de una máquina CNC láser de CO_2 utilizando uC ATmega328P para optimizar el corte de acrílico”

Tabla 1:

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p><u>Problema general</u></p> <p>¿En qué medida el diseño del sistema de control de una máquina CNC láser CO_2 permite la optimización del corte de acrílico?</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <p>Diseñar un sistema de control de una máquina CNC láser de CO_2 utilizando uC ATmega328P para optimizar el corte de acrílico.</p>	<p><u>Hipótesis general</u></p> <p>Mediante el diseño del sistema de control de una máquina CNC láser de CO_2 utilizando uC ATmega328P facilitará optimizar el corte de acrílico.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>Diseño de maquina CNC laser de CO_2</p> <p>DEPENDIENTE</p> <p>Optimizar el corte de acrílico</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>No experimental</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Descriptiva</p>
<p><u>Problemas específicos</u></p> <p>¿En qué medida el diseño de un controlador para una máquina CNC láser CO_2 permite optimizar el corte de acrílico?</p>	<p><u>Objetivos específicos</u></p> <p>Diseñar un controlador para una máquina CNC láser CO_2 que optimice el corte de acrílico.</p>	<p><u>Hipótesis específicas</u></p> <p>El diseño de un controlador para una máquina CNC láser CO_2 optimizará el corte de acrílico.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>Diseño del controlador para una máquina CNC laser de CO_2</p> <p>DEPENDIENTE</p> <p>Optimizar corte acrílico.</p>	<p>TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS</p> <p>Revisión documental</p> <p>MUESTRA</p> <p>Empresa Profesionales Coseca SAC.</p>
<p>¿En qué medida el algoritmo de anidamiento reduce el desperdicio de acrílico?</p>	<p>Seleccionar un algoritmo de anidamiento que reduzca el desperdicio de acrílico.</p>	<p>La selección de un algoritmo de anidamiento reducirá el desperdicio de acrílico.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>Algoritmo de anidamiento</p> <p>DEPENDIENTE</p> <p>Desperdicio de acrílico</p>	
<p>¿En qué medida la simulación del controlador permite demostrar la fiabilidad del sistema?</p>	<p>Evaluar la simulación del controlador que demuestre la fiabilidad del sistema.</p>	<p>La evaluación de la simulación del controlador demostrará la fiabilidad del sistema.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>Simulación del controlador</p> <p>DEPENDIENTE</p> <p>Fiabilidad del sistema.</p>	

Capítulo V. Desarrollo de la investigación

En el próximo capítulo se profundiza en el componente principal de esta tesis, el controlador para una máquina CNC láser de CO_2 . Este capítulo consiste en los aspectos técnicos y prácticos de la ingeniería electrónica y exploraremos en detalle como este controlador es fundamental para el funcionamiento de la máquina. Además, se aborda la importante elección de los algoritmos de anidamiento, un elemento clave para la optimización del proceso de corte. Cada aspecto y cálculo serán validados mediante fichas técnicas y pruebas para garantizar la eficiencia y precisión de todo el sistema.

5.1 Determinación del sistema cinemático en la máquina CNC

El sistema cinemático de la máquina CNC láser está conformado por el motor paso a paso y por el driver como también se realiza el diagrama del control.

5.1.1 Determinación del motor paso a paso

Los motores paso a paso son los encargados de mover el cabezal láser por todo el recorrido del área de trabajo para que realice el corte mediante el láser de CO_2 . Seleccionamos los motores paso a paso para el eje X y el eje Y del fabricante, los cuales se basan en la asociación nacional de fabricantes eléctricos, los motores seleccionados son los motores NEMA 23 modelo 57CM23-3A como se visualiza en la tabla 2.

El motor presenta como características que tiene 2 fases y de 3 A por cada fase, consta de 4 cables constituidos por A+, A-, B+ y B-; con un torque de retención de 2.3 N.m y una resolución de 1.8° por cada paso con $\pm 0.09^\circ$ de precisión. base a las características técnicas mencionadas, se realiza simulación en el software Proteus. Cabe resaltar que el motor seleccionado es para máquinas CNC que requieran un menor torque de retención para proporcionar un margen de seguridad.

La curva característica del motor paso a paso 57CM23-3A es una sub variante del motor paso a paso 57CM23 de 5 A la cual su grafica de torque (N.m) con respecto a la velocidad (RPM), como se visualiza en el anexo 2.

Tabla 2

Características técnicas del motor 57CM23-3A

Modelo	57CM23-3 A
Tipo de Motor	NEMA 23
Angulo de paso	1.8°± 0.09
Corriente por fase	3 A
Torque de retención	2.3 N.m
Voltaje	3.6 V
Resistencia DC / fase ± 10%	1.2 Ω
Inductancia / fase ± 20%	4.3 mH
Peso	1.1 Kg

Nota: La imagen representa a un motor paso a paso 57CM23-3A. Fuente: Leadshine (2013) "Características técnicas del motor 57CM23-3A"

En la figura 18 se visualiza al motor paso a paso 57CM23-3A.

Figura 18

Motor paso a paso 57CM23-3A



Nota: La imagen representa a un motor paso a paso 57CM23-3A. Fuente: Leadshine (2013) "Motor 57CM23-3A"

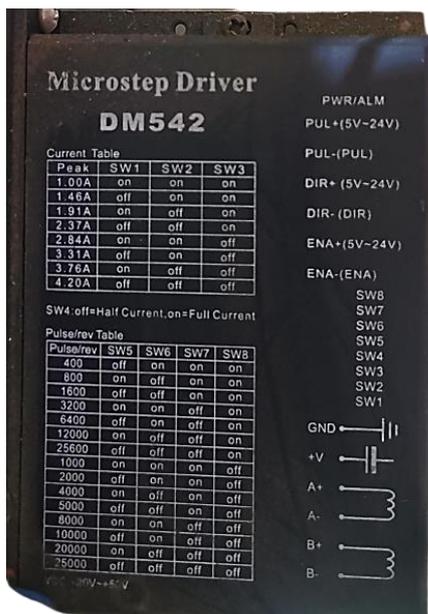
5.1.2 Determinación del driver del motor paso a paso

En la selección del driver se requiere determinar la corriente máxima con la que trabajará el motor paso a paso y conocer las entradas del driver con el microcontrolador, esto es producto de que el microcontrolador se encarga de enviar pulsos al drive para que de esa manera se controle la velocidad y el giro. Las características del driver es que mediante múltiples interruptores se selecciona la corriente a la cual se requiere trabajar como también selecciona los micro pasos.

La selección de los micro pasos contribuye a que el motor no realice movimientos bruscos si no realice un movimiento suavizado para que así no se fuerce al motor y producto de ello el motor aumente de temperatura, generando un recalentamiento, esos micro pasos se basa en que un paso de 1.8° se divide en sub pasos. El driver seleccionado modelo DM542 está limitado por una corriente máxima de 3A RMS, una resolución de 15 micro pasos y una entrada de voltaje de 20 ~ 50VDC como se visualiza en la figura 19.

Figura 19

Driver DM542 para motor paso a paso



Nota: Imagen del driver DM542 del fabricante Leadshine. Fuente propia

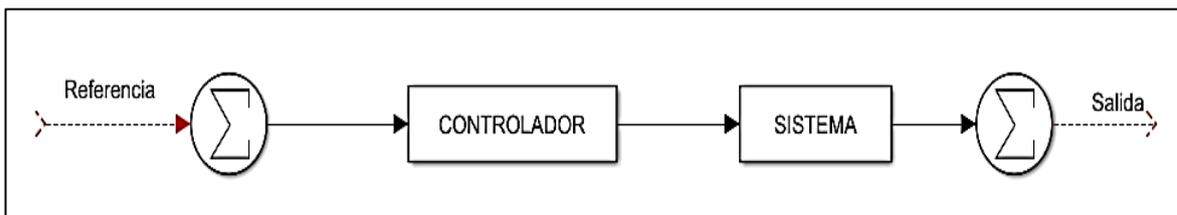
5.1.3 Diagrama de control de motor paso a paso

Las máquinas CNC con alta tecnología utilizan sensores de posición o encoder en su gran mayoría, el cual se utiliza para la retroalimentación del controlador y así los motores paso a paso no pierdan pasos originando que el motor paso a paso realice su posicionamiento con exactitud. El desarrollo del control de los motores paso a paso se realiza en lazo abierto esto es producto a que los factores externos son mínimos y no afectan al sistema de control, es por ello que no se requiere sensores de posicionamiento.

En la figura 20 se visualiza el diagrama de control de lazo abierto que cuenta con una entrada donde la información se transmite por el microcontrolador ATmega328P, posteriormente continua por el sistema del control que se conforma por el driver DM542 y el motor paso a paso 57CM23-3 A, por último, presenta una salida donde se obtiene el movimiento del actuador.

Figura 20

Diagrama de control de los motores paso a paso



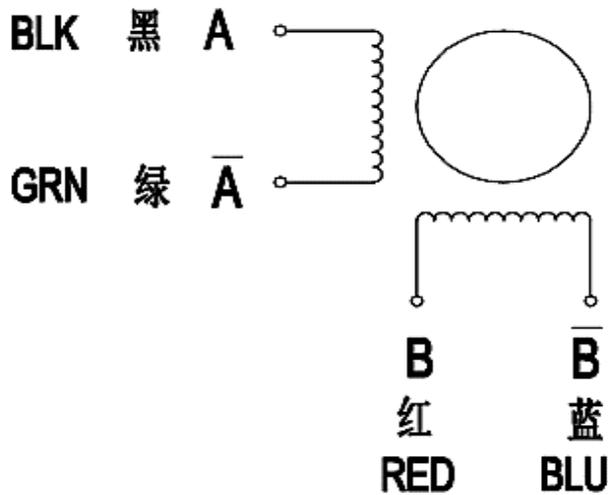
Nota: Diagrama de control del motor paso a paso de lazo abierto. Fuente propia

5.1.4 Esquema electrónico del motor paso a paso y el driver

El esquema electrónico para la conexión del driver con los motores paso a paso, se basa en realizar la conexión de acuerdo al tipo bobinado del motor paso a paso, con respecto al motor paso a paso del modelo 57CM23 – 3 A se realiza como se ilustra en la figura 21. La conexión se realiza dependiendo de la polaridad de las bobinas del motor paso a paso.

Figura 21:

Diagrama eléctrico del motor paso a paso 57CM23-3A

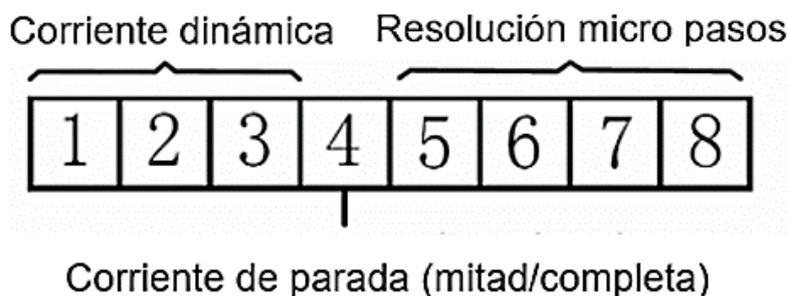


Nota: Diagrama eléctrico de motor paso a paso 57CM23-3 A, donde se visualiza, los nombres de cada bobina. Fuente; Leadshine (2013) "Motor 57CM23-3A"

El motor paso a paso trabajo de acuerdo a la delimitación de la corriente de cada fase según los conmutadores del driver SW1 al SW3, así como también la configuración de la corriente de parada que fluye por cada bobina en modo media o completa (SW4), además se configura la resolución de los 15 micro pasos de SW5 al SW8. Todos los conmutadores se configuran como ON-OFF dependiendo de la configuración que se seleccione.

Figura 22:

Selección de los switches del driver



Nota: Configuración de la corriente por fase del motor, los micro pasos y la corriente de parada. Fuente Leadshine (2018) "Manual de usuario DM542"

La configuración del driver para la corriente del motor paso a paso se realiza de acuerdo a los conmutadores SW1, SW2, SW3 como se visualiza en la siguiente tabla 3.

Tabla 3*Configuración de corriente dinámica según el switch*

Corriente Pico	Corriente RMS	SW1	SW2	SW3
1.00 A	0.71 A	ON	ON	ON
1.46 A	1.04 A	OFF	ON	ON
1.91 A	1.36 A	ON	OFF	ON
2.37 A	1.69 A	OFF	OFF	ON
2.84 A	2.03 A	ON	ON	OFF
3.31 A	2.36 A	OFF	ON	OFF
3.76 A	2.69 A	ON	OFF	OFF
4.20 A	3.00 A	OFF	OFF	OFF

Nota: Configuración de la corriente dinámica para el motor paso a paso. Fuente: Leadshine (2018) "Manual de usuario DM542"

En la elección del motor paso a paso se determinó una corriente de 3A y de acuerdo al manual del fabricante Leadshine, se menciona que el trabajo que realice el motor paso a paso es a un 70% de la corriente nominal, esto se realiza con el objetivo de evitar sobrecalentamiento y así se garantice una prolongación en su vida útil del motor paso a paso, de acuerdo a lo mencionado, se tiene una corriente de 2.1 A y de acuerdo a la tabla se selecciona la corriente RMS de 2.36 A que tiene la configuración de los conmutadores OFF-ON-OFF.

En la selección del SW4 del manual del fabricante Leadshine, se indica que existen 2 opciones ON-OFF y si se encuentra activado en (ON) entonces la configuración de la corriente de parada será la misma que la corriente dinámica y en caso este apagado en (OFF) entonces la corriente de parada se reduce automáticamente en 50% de la corriente dinámica un segundo después del último pulso. Por lo menciona se selecciona OFF.

En la selección de la resolución del motor paso a paso se calcula la cantidad de pulsos que se necesita para generar una revolución completa.

En la ecuación (5.1) se realiza el cálculo del número de pasos

$$\#pasos = \frac{1 \text{ Revolución}}{\text{Ángulo de paso}} \dots (5.1)$$

$$\#pasos = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ pasos}$$

En la ecuación 5.2 se realiza el cálculo del número de pulsos por revolución.

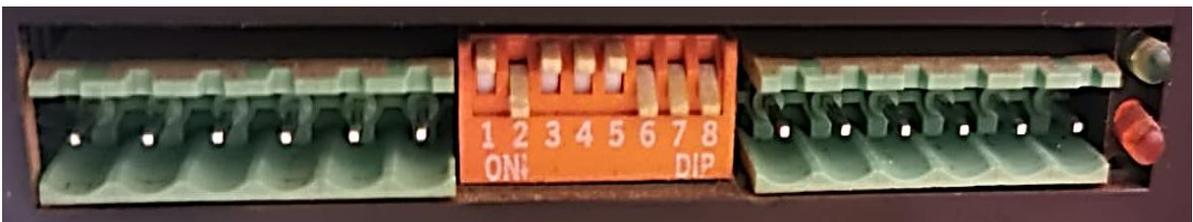
$$\frac{\#pulsos}{\text{revolución}} = \#pasos * \text{micropasos} \dots (5.2)$$

$$\frac{\#pulsos}{\text{revolución}} = 200 * 2 = 400 \left[\frac{\text{pulsos}}{\text{revolución}} \right]$$

Se selecciona un micro paso de 2 producto de que en las pruebas experimentales el motor a 800, 1600 y 3200 pulsos por revolución, el motor paso a paso disminuye el torque, presenta alta vibración e incluso cuando se aumenta la velocidad los pasos disminuye. Se realiza la prueba experimental a 400 pulsos por revolución y el motor paso a paso presenta poca vibración por ende presenta la capacidad de funcionar en óptimas condiciones producto de ello la configuración de los micro pasos para cada switch es OFF-ON-ON-ON como se visualiza en la figura 23 y en la tabla 4.

Figura 23

Posición de los switches del driver



Nota: Los switches es OFF/ ON / OFF/OFF/OFF/ON/ON/ON respectivamente. Fuente propia

Tabla 4*Configuración de micro pasos según switch*

Micro pasos	Paso/rev (1.8°)	SW5	SW6	SW7	SW8
2	400	OFF	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	OFF	ON	ON
16	3200	ON	ON	OFF	ON
32	6400	OFF	ON	OFF	ON
64	12800	ON	OFF	OFF	ON
128	25600	OFF	OFF	OFF	ON
5	1000	ON	ON	ON	OFF
10	2000	OFF	ON	ON	OFF
20	4000	ON	OFF	ON	OFF
25	5000	OFF	OFF	ON	OFF
40	8000	ON	ON	OFF	OFF
50	10000	OFF	ON	OFF	OFF
100	20000	ON	OFF	OFF	OFF
125	25000	OFF	OFF	OFF	OFF

Nota: Configuración de micro pasos según switch 5,6,7y8. Fuente: Leadshine (2012) "La resolución de micropasos se establece mediante SW5,6,7,8"

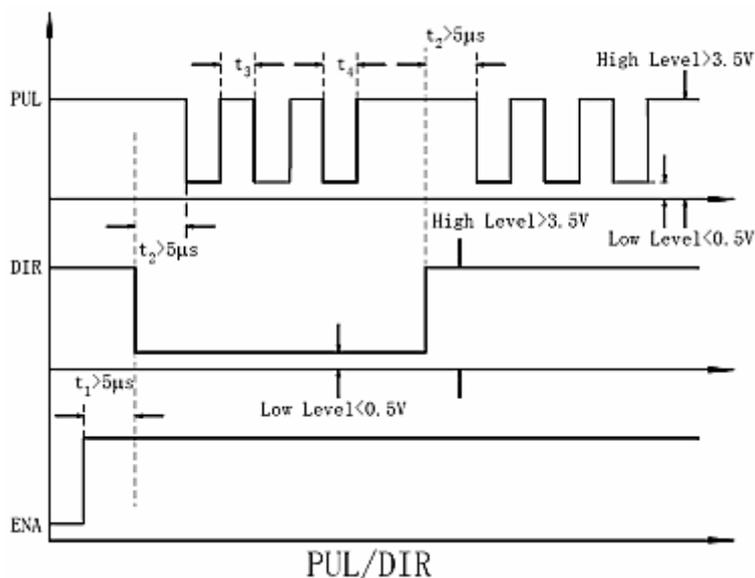
La conexión del driver con la tarjeta de control de la máquina CNC, se realiza de acuerdo a la conexión de ánodo común o cátodo común. La elección de la conexión se realiza evaluando las señales de pulso de la configuración eléctrica de PUL y DIR. La función del pin PUL se utiliza para la velocidad del motor paso a paso con +5V en flanco alto y 0V en flanco bajo; además para garantizar el movimiento del motor paso a paso se realiza como mínimo una configuración de 2.5µs.

La función del pin DIR se utiliza para la dirección del motor paso a paso con +5V en flanco alto y 0V en flanco bajo, por lo que en estado alto gira en un sentido y en estado bajo gira en sentido inverso; además para garantizar el correcto funcionamiento del control de giro del motor se realiza un adelanto de 5 μ s con respecto a la señal PUL como se visualiza en la figura 24.

La función del pin ENA se utiliza para la habilitación y deshabilitación del controlador de motor paso a paso con +5V en el flanco alto y 0V en el flanco bajo. La elección en el cátodo común se tiene que la habilitación es en 0V y la deshabilitación es a 5V; sin embargo, el fabricante recomienda no realizar la conexión del pin ENA por ende el sistema está habilitado.

Figura 24

Diagrama de funcionamiento PUL-DIR-ENA



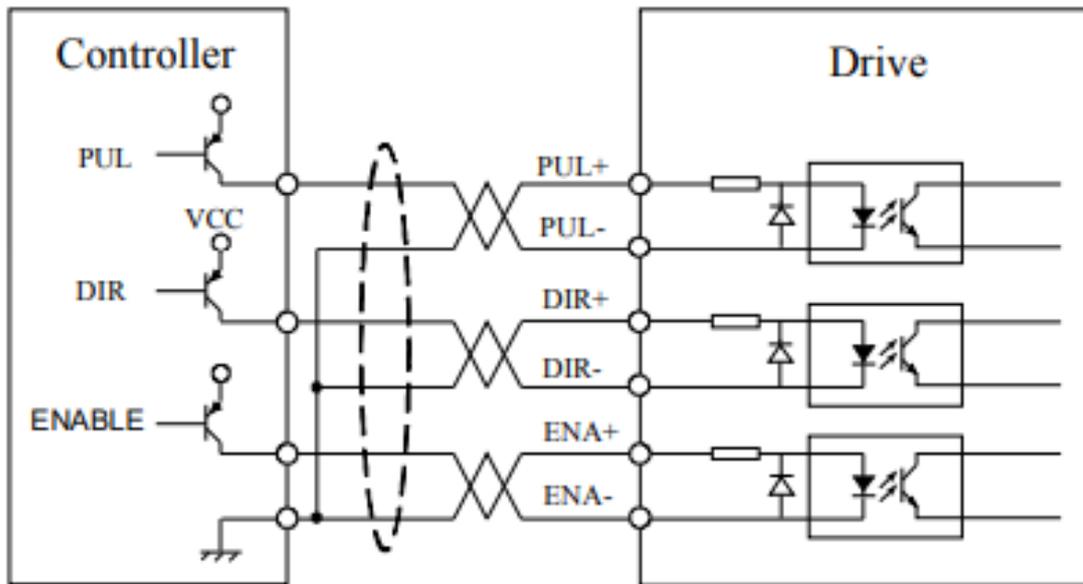
Nota: Los switches es OFF/ ON / OFF/OFF/OFF/ON/ON/ON respectivamente. Fuente: Leadshine (2012)
 “Diagrama de secuencia de señales de control PUL/DIR”

La conexión de la tarjeta de control y el driver DM542 es del tipo cátodo común, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. La conexión del pin PUL+ y DIR+ se conecta con la tarjeta de control de la máquina CNC. La conexión del pin PUL- y DIR- del

driver DM542 se conecta con a tierra de la tarjeta de control de la máquina CNC, estas conexiones se realizan para cada motor paso a paso, como se visualiza en la figura 25.

Figura 25

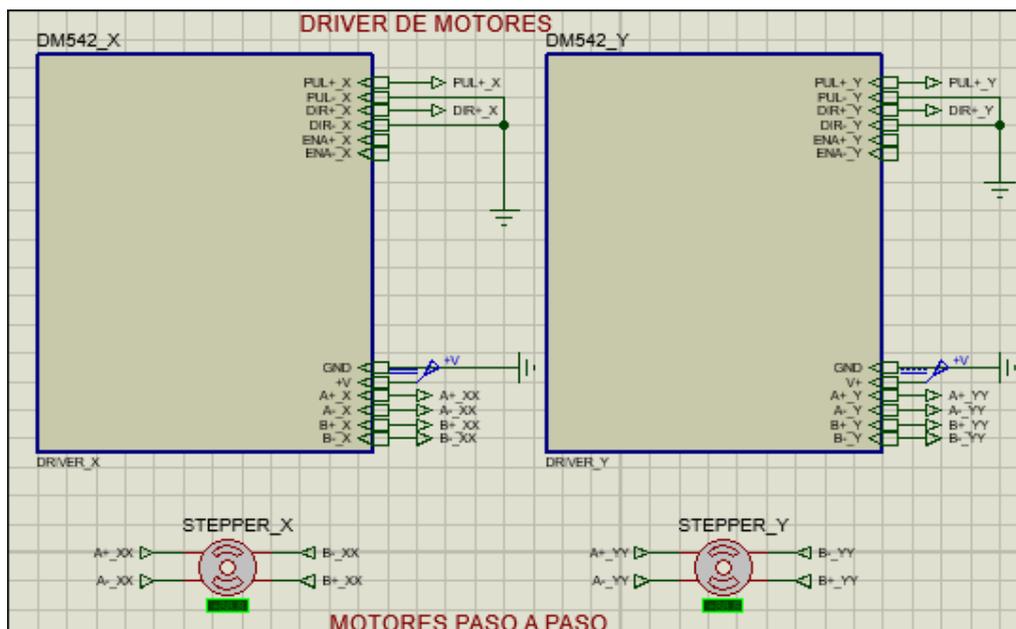
Conexión de la tarjeta de control con el driver DM542



Nota: Diagrama de conexión del sistema del driver, tarjeta de control, motor paso a paso. Fuente: Leadshine (2012) "Típica conexión"

Figura 26

Diagrama electrónico del driver y de los motores paso a paso



Nota: Conexión de los drivers y de los motores paso a paso. Fuente propia

En la figura 26 se realiza el diagrama electrónico en el software Proteus 8.11 de los drivers DM542 para el eje X y el eje Y son conectados a cada uno de los motores paso a paso, se describe individualmente conforme al esquema eléctrico correspondiente.

5.2 Determinación del tubo láser de CO_2

Existe una gran variedad de modelos de tubo láseres y la determinación del tubo láser CO_2 se elige de acuerdo a la potencia del tubo láser CO_2 , ya que con dicha potencia se realiza el corte de diferentes tipos de materiales. En la figura 27 muestra la diversidad de valores de potencia en relación con la velocidad y espesor para la variedad de materiales. El material de estudio es polimetilmetacrilato (PMMA) comúnmente llamado acrílico.

Figura 27

Selección del material acrílico

Material	Lower value of P/Vt ($J\text{mm}^{-2}$)	Higher value of P/Vt ($J\text{mm}^{-2}$)	Average of P/Vt ($J\text{mm}^{-2}$)
Mild steel + O_2	4	13	5.7
Mild steel + N_2	7	22	10
Stainless steel + O_2	3	10	5
Stainless steel + Ar	8	20	13
Titanium + O_2	1	5	3
Titanium + Ar	11	18	14
Aluminium + O_2			14
Copper + O_2			30
Brass + O_2			22
Zirconium + O_2			1.7
<u>Acrylic sheet</u>	1	3	<u>1.2</u>
Polythene	2.7	8	5
Polypropylene	1.7	6.2	3
Polystyrene	1.6	3.5	2.5
Nylon	1.5	5	2.5
ABS	1.4	4	2.3
Polycarbonate	1.4	4	2.3
PVC	1	2.5	2
Formica	51	85	71
Phenolic resin			2.7
Fibre glass (epoxy)			3.2

Nota: Tabla de materiales, donde se obtiene el valor del acrílico. Fuente: William M. Steen (2010) "Procesamiento de materiales con láser"

De la figura 27 se realiza la igualdad de la ecuación (5.3).

$$\frac{P * 60\%}{V_c * t} = 1.2 \text{ J/mm}^2 \dots (5.3)$$

P : Potencia del tubo laser CO_2 ($\frac{J}{s}$)

V_c : Velocidad de corte (mm/s)

t : Espesor (mm)

El material que se cortara es la plancha acrílica de 1.20 x 2.40 m y de un espesor de 1.5mm de las cuales se tiene diferentes medidas de molde. En la realización del corte se requiere una velocidad de corte requerida es de 16 mm/s. La potencia requerida se tiene por recomendaciones del fabricante que trabaje a un 60% con el objetivo de que presente una mayor vida útil. Además, es importante mencionar que tubo láser tendrá la capacidad de trabajar a mayores potencias y velocidades sin embargo a la velocidad determinada se obtiene una mejor calidad en el corte. Reemplazando los valores en la ecuación (5.3) se obtiene lo siguiente.

$$\frac{P * 60\%}{16 \frac{mm}{s} * 1.5 mm} = 1.2 \frac{J}{mm^2}$$

$$P = 40 \frac{J}{s}$$

El valor de la potencia obtenida es de 40 W es por ello que de acuerdo al catálogo del fabricante se selecciona el modelo C45 que presenta una potencia nominal de 45 W. Cabe resaltar que la potencia se regula en la programación del software.

En la tabla 5 se visualiza las características del modelo C45 de acuerdo a la ficha técnica, además se tiene que el tubo láser presenta una longitud de 850 mm y de diámetro de 50 mm.

Tabla 5*Características del tubo láser de CO₂ modelo C45*

Modelo: C45	Potencia nominal: 45W
Longitud de onda: 10.6μm	Potencia Máxima: 55W
Longitud: 850±5mm	Estabilidad: ≤±5%
Diámetro: 50±1mm	Modo de excitación: Excitación eléctrica
Diámetro del punto: 4±1mm	Enfriamiento: Enfriado por agua 15-25°C
Corriente de arranque: 5mA	Voltaje de arranque: 17kV
Voltaje de trabajo:13kV	Corriente recomendada: 16mA
Máxima corriente de trabajo: ≤20mA	Ángulo de divergencia del haz: 3.1mrad
Frecuencia modulada: ≤3kHz	Calidad del haz: ≤1.1
Modo láser: Modo de orden multi-bajo	Peso neto: 1.1kg
Peso bruto: 1.7kg	Paquete de cartón: 990*130*110mm

Nota: Especificaciones técnicas del tubo láser modelo C45. Fuente: STP (2013) "Tubo láser de CO₂ serie C"

5.3 Determinación de la fuente del tubo láser de CO₂

En la selección de la fuente del tubo láser de CO₂ se requiere determinar considerando los parámetros como la potencia, el voltaje de trabajo y la corriente máxima con el objetivo de garantizar que la fuente lo suministre la energía eléctrica al tubo láser, para ello el fabricante presenta una gran variedad de modelos de fuentes.

El tubo láser modelo C45 requiere una fuente el modelo JG40W ya que los parámetros mencionados se encuentran dentro del rango del rango de activación y funcionamiento del tubo láser, cabe resaltar que cuenta con una entrada PWM para realizar el control de la potencia láser.

El tubo láser requiere un sistema de protección que funciona con un sensor de flujo de agua ya que el tubo láser trabaja en el rango de temperatura de 15-25°C. En la tabla 6 se visualiza las características técnicas de la fuente y se valida mediante un análisis comparativo la elección de JG40.

Tabla 6*Características de los modelos de fuente del tubo láser de CO₂*

Modelo	JG40W	JG60W	JG80W	JG100W	JG130W
Potencia Nominal	300W	400W	500W	600W	650W
Voltaje de entrada	AC220V o AC110V				
Frecuencia de entrada	47-440Hz	47-440Hz	47-440Hz	47-440Hz	47-440Hz
Voltaje de salida	12-30KV	16-30KV	18-35KV	28-40KV	32-45KV
Corriente de salida	5-20mA	6-24mA	7-30Ma	9-35mA	8-38mA
Velocidad de respuesta	≤1ms	≤1ms	≤1ms	≤1ms	≤1ms
Tiempo medio entre fallos	≥30000 horas				
Ambiente	-10-40°C y Humedad relativa ≤85%				

Nota: Especificaciones técnicas de las fuentes de tubo láser CO₂. Fuente: STP (2013) "Fuente de alimentación láser"

5.4 Diseño del sistema de ventilación

El sistema de ventilación es necesario para garantizar la vida útil de los componentes ya que al utilizarlo durante un prolongado tiempo entonces la temperatura de

los componentes se eleva, es por ello que genera que disminuya la eficiencia de los componentes.

5.4.1 Cálculo y control de los ventiladores

La instalación de los ventiladores se realiza para los motores paso a paso que se han seleccionado, ya que al encontrarse en un continuo trabajo se produce un calentamiento que ocasiona un incorrecto funcionamiento, es por ello que en la contribución de una prolongada vida útil se le instala ventiladores que se activaran cuando los motores se encuentren en funcionamiento y se apaga cuando el motor no se encuentre en funcionamiento. Se establece un total de dos ventiladores ya que se tiene dos motores paso a paso.

Los ventiladores requieren de la instalación de diodos ya que cuando se realiza la desconexión se obtiene una corriente de antirretorno que genera picos de voltaje inverso, lo cual daña otros componentes del sistema. La colocación del diodo es en paralelo y su selección se encuentra predeterminado por la corriente que requiera los ventiladores.

El ventilador seleccionado en la simulación es de un voltaje de 24 V y de una corriente de 0.3 A, además presenta un flujo de aire de 104.62 CFM como se visualiza en el anexo 4. La determinación del diodo es el 1N5819 ya que la corriente máxima es de 1 A y voltaje de 40V como se visualiza en el anexo 3. Cabe mencionar que la selección de la corriente del diodo no es inferior a la suma de corriente de ambos ventiladores por ende se encuentra correctamente seleccionado.

La determinación de los componentes que realizan el trabajo en su conjunto con el diodo y ventiladores, son los dispositivos electrónicos MOSFET y las resistencias del diodo.

Se realiza un análisis para el MOSFET y se determina el voltaje de activación dentro del rango a trabajar que es en zona lineal. De acuerdo a la ecuación (5.4) de tensión de Kirchhoff se tiene:

$$V_{cc} - I_D * R_M - V_{DS} = 0 \dots (5.4)$$

V_{cc} : Voltaje de alimentación (V)

I_D : Corriente del drenador del MOSFET (A)

R_M : Resistencia equivalente de los ventiladores (Ω)

V_{DS} : Voltaje drenador - fuente (V)

La fuente de alimentación es de 24V para que los ventiladores funcionen correctamente y la resistencia equivalente se calcula de acuerdo con la ley de Ohm y con referencia al diseño de la carga como se visualiza en la ecuación (5.5).

$$V_{cc} = I_V * R_M \dots (5.5)$$

I_V : Corriente de la carga de los ventiladores ($I_V = 1$ A)

De acuerdo a los datos y reemplazando en la ecuación 5.5 se tiene lo siguiente.

$$R_M = \frac{24V}{1A} = 24 \Omega$$

La resistencia equivalente de los ventiladores es de 24 ohm, el mencionado valor se reemplaza en la ecuación 5.4

$$24V - I_D * 24\Omega - V_{DS} = 0 \dots (5.6)$$

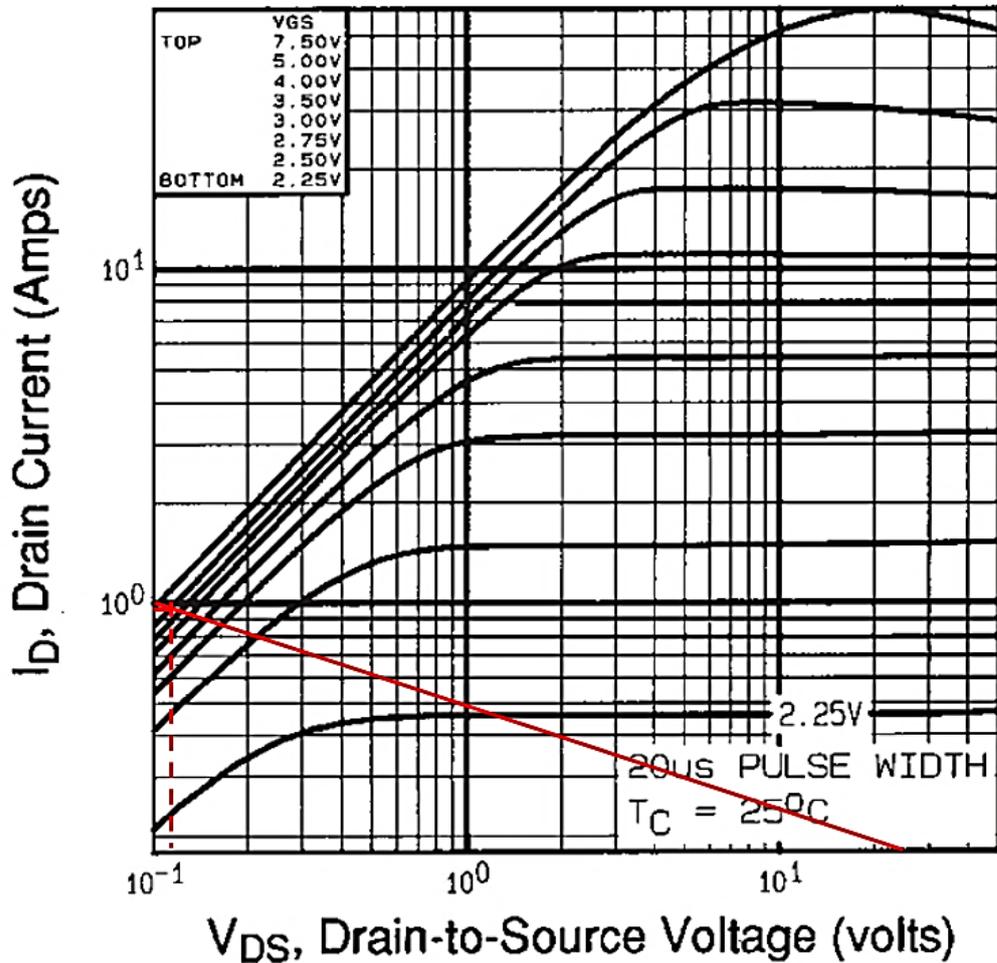
Se obtiene una nueva ecuación con los datos reemplazados como se visualiza en la ecuación (5.6), dicha ecuación se utiliza para realizar la gráfica de la corriente I_D y el voltaje V_{DS} , como se visualiza en figura 28.

El circuito en paralelo se requiere determinar el MOSFET para que así se utilice su gráfica. El MOSFET determinado es del modelo IRL530, la ficha técnica se visualiza en el anexo 5, donde se considera los datos técnicos como es la resistencia de disipación en modo de conducción, para ello se tiene la resistencia y la eficiencia en disipación es

inversamente proporcional, por ende, se requiere una menor resistencia para que la eficiencia aumente.

Figura 28

Gráfica de las curvas características de salida del MOSFET



Nota: La intersección de las gráficas se obtiene I_D y V_{DS} . Fuente: Vishay Siliconix (2008) "Curva características 25°C"

En la figura 27 se observa la intersección con la curva de 5V de V_{GS} y se obtiene la corriente de drenador (I_D) es 0.98A y el voltaje drenador fuente (V_{DS}) es de 0.113V. Los datos obtenidos se utilizan para determinar si el MOSFET requiere de un radiador para disipar el calor, para ello primero se realiza el cálculo de la potencia del MOSFET como se visualiza en la ecuación (5.7).

$$P_{cond} = V_{DS} * I_D \dots (5.7)$$

P_{cond} : Potencia de MOSFET por pérdida de conducción (W)

Reemplazando los valores de diseño en la ecuación (5.7).

$$P_{cond} = 0.113\Omega * 0.98A$$

$$P_{cond} = 0.11W$$

Se calcula la temperatura del MOSFET que es la suma de todas las pérdidas como se visualiza en la ecuación (5.8) (BK, 2018).

$$P_{TOTAL} = P_{cont} + P_{on} + P_{off} \dots (5.8)$$

P_{TOTAL} : Potencia de pérdida total (W)

P_{on} : Potencia de pérdida por tiempo de subida (W)

P_{off} : Potencia de pérdida por tiempo de bajada (W)

En la ecuación (5.8) se desprecia P_{on} y P_{off} ya que el valor es muy pequeño y esto es producto del tiempo de subida y bajada ya que el sistema se encuentra activo por periodos prolongados, reemplazando en la ecuación (5.8) se tiene lo siguiente.

$$P_{TOTAL} = 0.11W$$

Se realiza el cálculo de la temperatura del MOSFET sin disipador que se determina por la ecuación (5.9) (BK, 2018).

$$T_j = R_{thJA} * P_{TOTAL} + T_a \dots (5.9)$$

T_j : Temperatura de unión interna del MOSFET (°C)

R_{thJA} : Temperatura de unión interna del MOSFET (°C/W)

T_a : Temperatura ambiental

La temperatura interna del MOSFET se obtiene del anexo 5 y se reemplazará en la ecuación (5.9), cabe resaltar que la tarjeta de control se encontrara ubicada a una distancia considerable de los componentes propensos al calentamiento, y se registra una temperatura ambiente de 25°C en esa zona por lo que se obtiene:

$$T_j = 62 \frac{C}{W} * 0.11W + 25$$

$$T_j = 31.82 \text{ } ^\circ C$$

Del anexo 5 se obtiene el rango de temperatura de almacenamiento y de unión operativa es del rango de -55°C a 155°C según (BK, 2018) , se considera el 80% del T_j

descrito por la hoja de datos ya que se requiere proteger el MOSFET, por lo cual se tiene una temperatura de funcionamiento de 124°C. Dado que el T_j calculado es menor a la temperatura de funcionamiento por lo tanto no requiere disipador.

El cálculo de las resistencias R_{11} y R_{12} de la figura 29 se realiza como se visualiza en la ecuación (5.10).

$$\frac{V_{cc}}{V_{GS}} = \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{11}} \dots (5.10)$$

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se tiene que $V_{GS} = 5V$ y considerando una resistencia de R_{12} de $1K \Omega$ se tiene lo siguiente.

$$\frac{24V}{5V} = \frac{1k + R_{12}}{1k}$$

$$R_{12} = 3.8k \Omega$$

El valor obtenido de R_{12} no es comercial, es por ello que se elige una resistencia mayor, de acuerdo a lo mencionado se tiene dos valores de resistencias:

$$R_{12} = 3.9k \Omega \wedge R_{11} = 1k \Omega$$

La corriente que pasa por las dos resistencias se obtiene de la división del voltaje y de la suma de las resistencias.

$$I = \frac{24V}{R_{12} + R_{11}} = \frac{24V}{1k + 3.9k} = 4.89mA$$

La potencia para cada resistencia se calcula como se visualiza en la ecuación

$$P = I^2 * R \dots (5.11)$$

Reemplazando la resistencia R_{12} en la ecuación (5.11) se tiene:

$$P_{R_{12}} = (4.89mA)^2 * 1k\Omega$$

$$P_{R_{12}} = 0.0239 W$$

Reemplazando la resistencia R_{11} en la ecuación (5.11) se tiene:

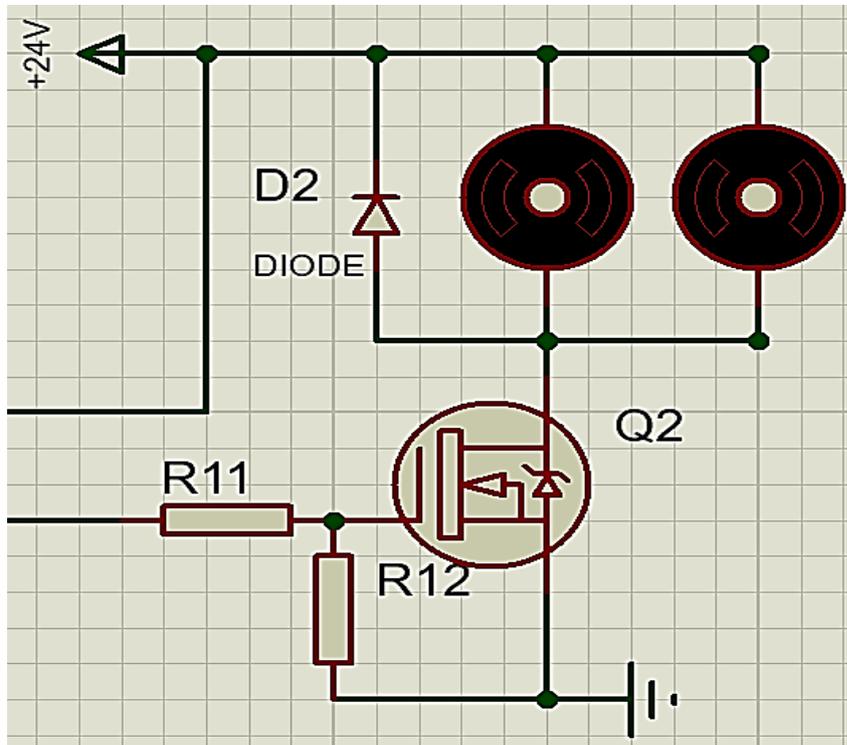
$$P_{R_{11}} = (4.89mA)^2 * 3.9k\Omega$$

$$P_{R_{11}} = 0.0932 W$$

La potencia de diseño para cada resistencia R_{11} y R_{12} es de $\frac{1}{4} W$ ya que es mayor a la potencia calculada para cada resistencia, por lo cual presenta un margen de seguridad.

Figura 29

Circuito para el control de los ventiladores



Nota: Diseño esquemático realizado en software Proteus. Fuente propia

5.4.2 Circuito de aislamiento lógico/potencia

El circuito lógico de potencia se encarga de aislar la parte lógica del microcontrolador con la parte de la potencia y este se encarga de activar a los ventiladores, ya que estos ventiladores al ser ventiladores DC y ser del tipo brushlees sin escobillas generan ruido eléctrico y causan interferencias electromagnéticas, producto de lo mencionado se coloca un optoacoplador para aislar la sección lógica de la sección de potencia protegiendo al microcontrolador y otros componentes.

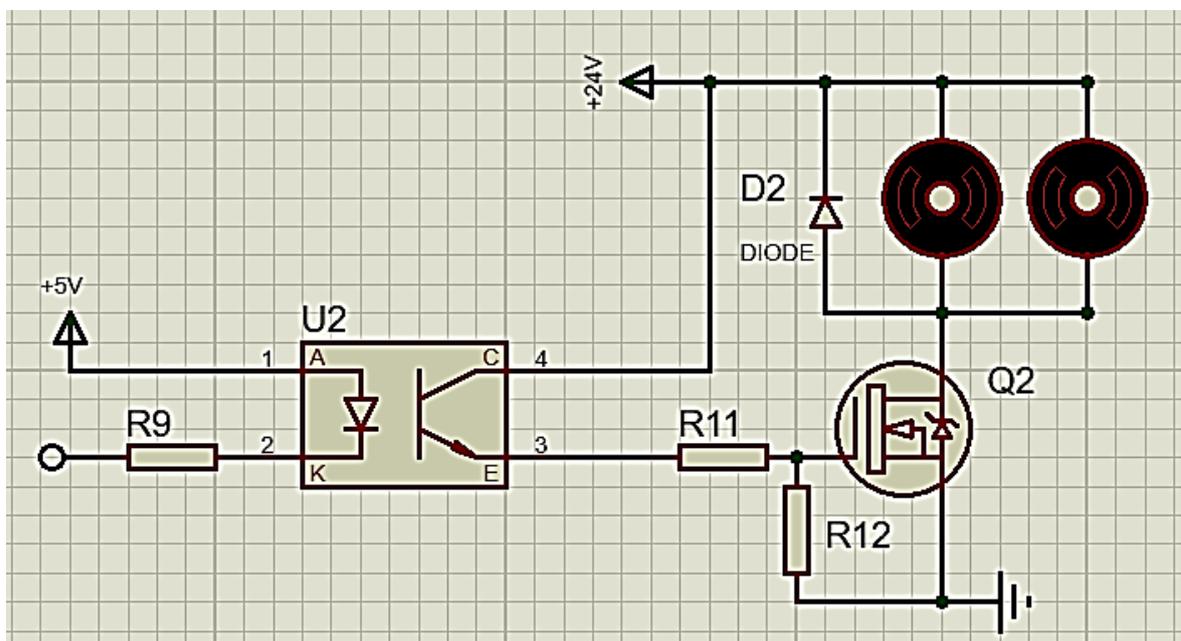
El optoacoplador seleccionado para el diseño del circuito es el PC817 debido a que cuenta con la capacidad de proporcionar aislamiento eléctrico y lo protege de interferencias. El mencionado modelo presenta una corriente de colector de 50 mA y voltaje de salida colector-emisor de 35V como se observa en el anexo 6.

Para la resistencia R_9 se calcula considerando la corriente que soporta el optoacoplador la cual se obtiene del anexo 6.

La corriente de entrada como lo máximo permisible es de $50mA$, además se tiene que la alimentación es de $5V$ y se determina una resistencia comercial de 150Ω . Posteriormente se realiza la conexión al sistema de potencia como se visualiza en la figura 30.

Figura 30

Esquema completo del sistema de ventilación



Nota: Diseño esquemático realizado en software Proteus. Fuente propia

5.5 Selección de sensores de proximidad

La selección de los sensores de proximidad se realiza analizando el alcance, precio, humedad y ruido, debido a lo mencionado se requiere estudiar las condiciones de trabajo de la máquina CNC, para que el sensor de proximidad detecte los movimientos que se originan en el eje X y en el eje Y.

El sensor de proximidad se conecta en la tarjeta de control. En la tabla 7 se visualiza una tabla comparativa de los sensores inductivos, capacitivo, ultrasónico, magnéticos, fotoeléctrico.

Tabla 7*Parámetros fundamentales para selección del sensor de proximidad*

SENSORES	ALCANCE	PRECIO	HUMEDAD	RUIDO	TOTAL
INDUCTIVO	4	5	5	5	19
CAPACITIVO	4	3	2	4	13
ULTRASONICO	3	1	1	1	6
MAGNETICOS	3	2	5	5	15
FOTOELÉCTRICOS	3	1	4	4	12

Nota: Tabla de parámetros fundamentales para la selección de sensor de proximidad Fuente propia

De la tabla 7 se visualiza que el sensor inductivo es el que mejor se adapta para las condiciones de trabajo que funciona en conjunto con la maquina CNC láser y la cantidad de los sensores a utilizar es dependiente de la cantidad de ejes en la máquina, dado que la máquina presenta 2 ejes entonces se necesita un total de 4 sensores de proximidad y la distribución es que cada sensor va en los extremos de cada eje.

Los sensores de proximidad se ubican en modo horizontal ya que se requiere que se encuentre nivelado sobre la base de la maquina CNC. La elección respecto a las dimensiones del sensor en referencia al tamaño y se necesita que presente la menor longitud, además que posea la menor distancia para realizar la detección.

La configuración requerida del sensor es NPN, esto es producto de que la salida del sensor es baja, cabe resaltar que la salida del sensor se conecta a tierra. De acuerdo al anexo 7 se obtiene la tabla 8.

Tabla 8*Características de selección de sensores de proximidad inductivo*

Dimensiones	Modelo	Método de salida	Distancia de sensor	Método de montaje	Dirección del sensor
35x26x12	LS-04N	NPN	4.0mm	No nivelado	Horizontal
	LS-04P	PNP			
50x12x12	PS-04N	NPN	4.0mm	No nivelado	Horizontal
	PS-04P	PNP			
28.9x17x17	PS-05N	NPN	5.0mm	Nivelado	Horizontal
	PS-05P	PNP			
	PS-08N	NPN	8.0mm	No nivelado	
	PS08P	PNP			
35x17x17	PL-05N	NPN	5.0mm	Nivelado	Horizontal
	PL-05P	PNP			
	PL-08P	NPN	8.0mm	No nivelado	
	PL-08N	PNP			

Nota: Tabla de características de los sensores inductivos horizontales. Fuente; Fotek (2016) "Sensor de proximidad inductivo"

Realizando el análisis de la tabla 8 se muestra que los sensores de proximidad que cumplen con lo requerido son el PS-05N y el PL-05N, dado que ambos sensores satisfacen lo requerido, entonces se considera la factibilidad de realizar la ubicación e instalación del sensor de proximidad inductivo en la maquina CNC, por lo que del anexo 7 se obtiene que

el diseño mecánico del PL-05N es más factible de ubicar y posicionar en la base de una ranura en comparación del sensor PS-05N.

Las características eléctricas del sensor de proximidad inductivo PL-05N, de acuerdo al anexo 7 se observa en la Tabla 9.

Tabla 9

Características eléctricas del sensor PL-05N

Especificaciones	Tipo DC
Voltaje de Operación	10~30VDC
Onda de poder	<20% pico a pico
Corriente de salida	150mA máx.
Consumo actual	<10mA
Corriente de fuga	<0.8mA

Nota: Tabla con las características eléctricas del PL-05N. Fuente: Fetek (2016)“Sensor de proximidad inductivo”

5.6 Diseño de la fuente

La fuente de alimentación es de importancia ya que se realiza la alimentación a toda la tarjeta de control, es por ello que el mencionado componente es requerido para el funcionamiento, al diseñar la fuente de alimentación se considera los ruidos eléctricos y las interferencias electromagnéticas ocasionadas por los ventiladores. Los factores mencionados influyen significativamente en el rendimiento y en la integridad de la electrónica del sistema.

5.6.1 Conversor DC/DC

La tarjeta de control es alimentada con 24V DC; sin embargo, el microcontrolador trabaja a 5V DC y la entrada de control de la fuente del tubo laser CO_2 también trabaja a 5V DC, por lo tanto, se requiere un conversor de 24V DC a 5V DC estable y aislado para que no ocasione interferencias electromagnéticas de la entrada a la salida.

El convertidor Buck que se determina es del modelo URB2405YMD-10WR3 de la empresa Hi-Link como se observa en la figura 31, el cual convierte el voltaje de 24V a 5V con una potencia de salida de 10W como se visualiza en el anexo 8. La fuente descrita es

una fuente de voltaje aislado robusta, además proporciona el voltaje solicitado, cabe resaltar que presenta una baja ondulación de salida y se diferencia de la fuente URA2405YMD porque solo cuenta con 2 pines de salida de +5v y 0v.

Figura 31

Convertor DC/DC



Nota: Convertor DC/DC de 24V a 5V de la marca Hi-Link. Fuente propia

El convertidor URB2405YMD-10WR3 consta de 5 pines en su totalidad, de los cuales son 2 pines de entrada, 2 pines de salida y un pin Ctrl. Es importante resaltar que el pin Ctrl se encuentra activo cuando se le proporciona voltaje o cuando el pin está desconectado, por otro lado, el pin Ctrl se encuentra desactivado cuando está conectado a tierra.

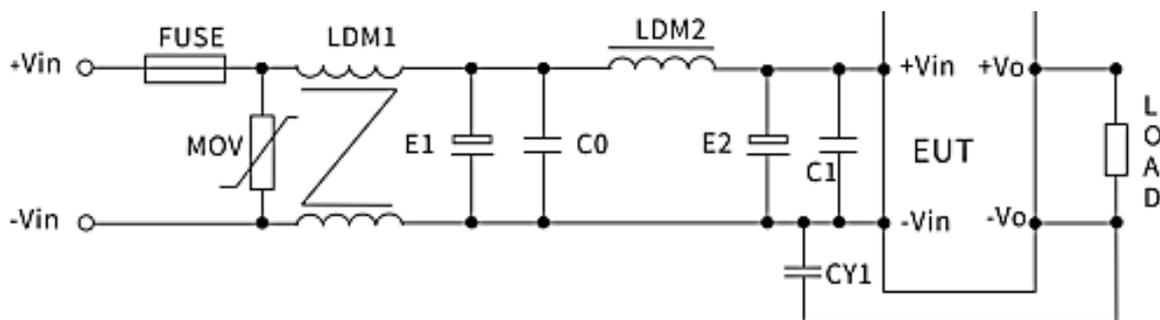
En la hoja de datos proporcionado por el fabricante, recomienda no conectar el pin Ctrl para que el módulo se encuentre continuamente activo.

5.6.2 Filtro EMC

El filtro de compatibilidad electromagnética (EMC), cuenta con la capacidad de operar de manera adecuada en un entorno electromagnético, sin causar interferencias electromagnéticas (EMI) no deseadas a los demás componentes, para ello el fabricante Hi-Link recomienda el circuito de filtro que se visualiza en la figura 32, además ficha de datos se visualiza en el anexo 8.

Figura 32

Circuito de filtro EMC



Nota: Circuito para la compatibilidad EMC del fabricante Hi-Link. Fuente Hi-link (2021)“Convertidor DC/DC”

En referencia al voltaje de entrada, el fabricante proporciona una lista de valores que recomienda en su hoja de datos, el cual se visualiza en la tabla 10.

Tabla 10

Valores recomendados por el fabricante

Código del dispositivo	Voltaje de entrada 24V
Varistor MOV	14D560K
Inductor modo común LDM1	10mH
Condensador electrolítico E1 y E2	100µF/50V
Condensador cerámico C0 y C1	1µF/50V
Inductor modo diferencial LDM2	10µH
Condensador de seguridad CY1	1nF/250Vac

Nota: Tabla de valores recomendados por el fabricante Hi-Link. Fuente Hi-link (2021)“Convertidor DC/DC”

El cálculo del fusible el cual protege al circuito de la sobrecorriente, depende de la temperatura de trabajo para el cual se considera una temperatura ambiental de 25°C. En la siguiente ecuación de Littelfuse se calcula la corriente nominal del fusible.

$$I_{NF} = \frac{I_{FN}}{0.75} \dots (5.12)$$

I_{NF} : Clasificación de corriente nominal del fusible (A)

I_{FN} : Corriente de funcionamiento normal (A)

En la tabla 11 se tiene las corrientes para cada componente, cabe resaltar que la corriente de funcionamiento normal es la suma de las corrientes de cada componente.

Tabla 11

Consumo de corriente del sistema

Componente	Cantidades	Corriente
Sensor de proximidad PL-05N	6	10mA
Circuito de Ventilación	1	1 A
Convertor DC/DC	1	502mA
Microcontrolador ATmega328P	1	150mA

Nota: Tabla de consumo por cada componente. Fuente Propia

La corriente de funcionamiento normal es de 1.712 A, dicho valor se reemplaza en la ecuación (5.12).

$$I_{NF} = \frac{1.712}{0.75} = 2.283 \text{ A}$$

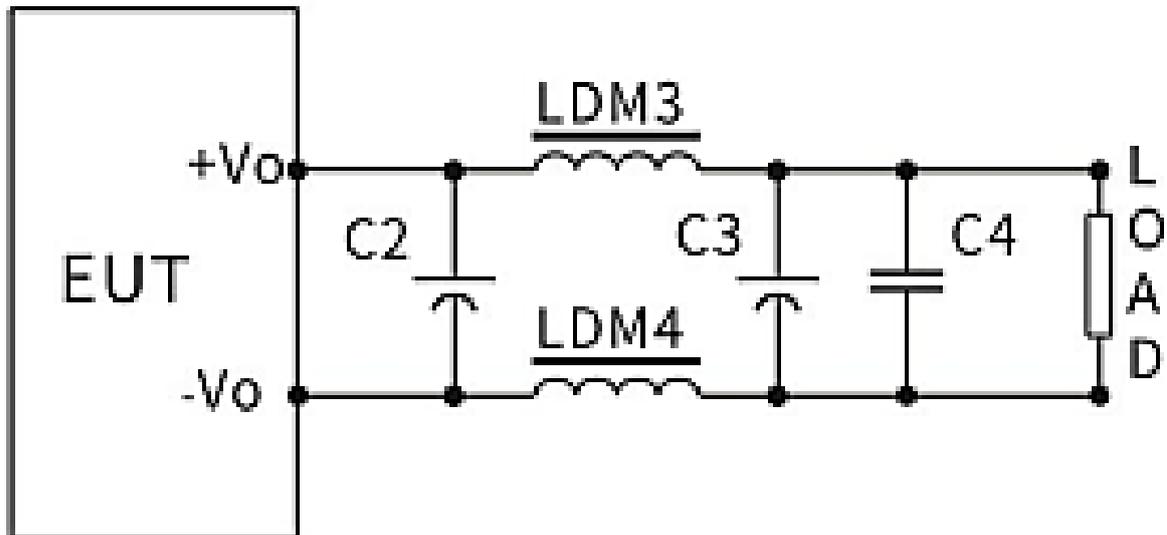
De acuerdo a lo calculado se selecciona un fusible comercial el cual es de 2.5 A.

5.6.3 Circuito de filtro

El circuito de filtrado está constituido por capacitores electrolíticos, capacitores cerámicos e inductores esto se encuentra a la salida del convertor; sin embargo, el uso de cada de uno de ellos depende de los requisitos de diseño y del ruido. En la figura 33 se visualiza el circuito filtrado.

Figura 33

Circuito de filtrado



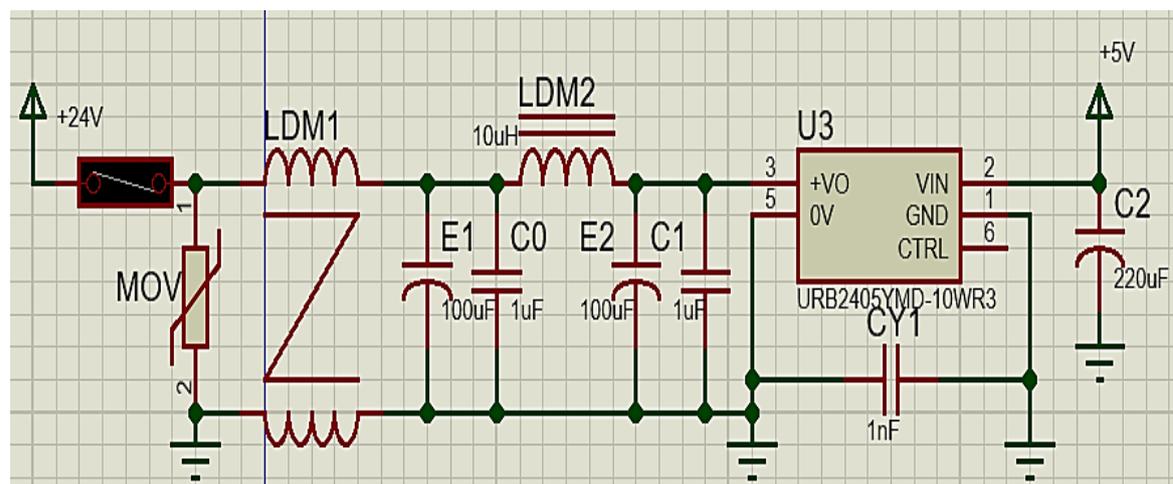
Nota: Circuito de filtrado de salida del fabricante Hi-Link. Fuente: Hi-link (2021) "Convertidor DC/DC"

El fabricante Hi-Link recomienda usar el circuito de la figura 33 en caso los requisitos de ondulación y ruido en la carga sean estrictos, en caso no sea muy estricto se utiliza el capacitor C2 el cual según anexo 8 es 220uF.

El diseño de la fuente se realizó en el software Proteus 8.11 según los parámetros ya seleccionados y se visualiza en la figura 34.

Figura 34

Diseño esquemático de la fuente de alimentación



Nota: Diseño esquemático de la fuente hecho en Proteus 8.11. Fuente propia

5.7 Firmware

Existen variedad de firmwares para máquinas CNC que requieren de licencia comercial y de código abierto; sin embargo, se selecciona el firmware de fácil acceso, simplicidad, código abierto y que trabaja con el microcontrolador ATmega328P.

Tabla 12

Selección del Firmware

Firmware	Trabaja con ATmega328P	Diseñado para maquinas CNC	Fácil uso y manejo	Total
GRBL	5	5	5	15
MARLIN	5	3	5	13
LINUX CNC	0	5	5	10
TinyG	0	5	5	10

Nota: Tabla de selección de los principales firmwares. Fuente propia

Del análisis de la tabla 12 se selecciona el firmware de mayor puntaje que es el GRBL. El firmware GRBL consta de una licencia GPLv3 que es una licencia que presenta una mayor utilidad, además su propósito es garantizar que permanezca gratuito y de acceso libre en referencia al código, por lo tanto, el firmware GRBL se adapta a las necesidades requeridas.

5.7.1 Configuración de GRBL

La configuración del firmware GRBL con los pines del microcontrolador ATmega328P viene predeterminado por la tabla 13; sin embargo, es modificable.

Tabla 13

Configuración de GRBL con los pines del ATmega328P

Pines del ATmega328P	Propósito del GRBL
PIN PC0	Restablecer/Abortar
PIN PC1	Retención de alimentación
PIN PC2	Inicio/reanudación del ciclo
PIN PC3	Habilitación de refrigerante
PIN PC4	No se usa
PIN PC5	No se usa
PIN PC6	Reiniciar
PIN PD0	RXD
PIN PD1	TXD
PIN PD2	Pulso de paso eje X
PIN PD3	Pulso de paso eje Y
PIN PD4	Pulso de paso eje Z
PIN PD5	Dirección eje X
PIN PD6	Dirección eje Y
PIN PD7	Dirección eje Z
PIN PB0	Activar/desactivar paso a paso
PIN PB1	Limite eje X
PIN PB2	Limite eje Y
PIN PB3	Laser PWM
PIN PB4	Limite eje Z

Nota: Función de cada pin para GRBL. Fuente propio

Generalmente el firmware GRBL asume a todos los caracteres y datos transmitidos del código G para ser analizado y realice su ejecución inmediata. Sin embargo, el firmware GRBL también contiene dos tipos de comandos del sistema que operan fuera del flujo normal de código G.

El tipo de comando del sistema se envía al firmware GRBL como código G, pero comienza con un carácter "\$" que le indica a GRBL que no es un código G normal. El segundo tipo de comando, consiste en un conjunto especial de caracteres que indican a GRBL que realice tareas sobre la marcha y no forman parte del flujo de código G típico.

Los comandos del sistema GRBL realizan funciones tales como monitorear el estado de la máquina, proporcionar información sobre los parámetros almacenados, describir operaciones de GRBL, guardar o imprimir las configuraciones de la máquina, iniciar un ciclo y realizar ajustes en la velocidad de la máquina para aumentar o disminuir la velocidad programada.

Comandos de GRBL v1.1

- \$\$ y \$x=val – Ver y escribir configuraciones de GRBL (ver anexo 9)
- \$# – Ver parámetros de gcode
- \$G – Ver el estado del analizador de gcode (ver anexo 10)
- \$I – Ver información de compilación
- \$X – Matar bloqueo de alarma
- \$H – Ejecutar ciclo de referencia
- \$Jx=line – Ejecutar movimiento de jogging

Comandos en tiempo real GRBL v1.1

- 0x18 – Reinicio suave
- 0x84 – Puerta de seguridad
- 0x85 – Jog Cancelar
- 0x90 – Establece el 100% de la tarifa programada
- 0x91 – Incrementar 10%

- 0x92 – Disminución del 10%
- 0x93 – Incrementar 1%
- 0x94 – Disminución del 1%
- 0x95 – Configuración al 100% de velocidad rápida completa
- ? – Consulta de informe de estado
- ~ - Inicio/ Reanudar ciclo
- ! – Retención de alimentación

En la generación de la onda PWM variando el ancho de pulso en el microcontrolador ATmega 328P consiste en cambiar el ciclo de trabajo dependiendo de la frecuencia para ello el código del firmware GRBL en el anexo 11 viene determinado por el código para el control PWM de la herramienta, en el cual se define los valores relacionados al control PWM del láser CO_2 .

- SPINDLE_PWM_MAX_VALUE: Valor máximo que toma la señal PWM.
- SPINDLE_PWM_MIN_VALUE: Valor mínimo que toma la señal PWM, por defecto se establece en 1, debe ser mayor a 0.
- SPINDLE_PWM_OFF_VALUE: Es el valor para apagar el láser, se establece en 0.
- SPINDLE_PWM_RANGE: Es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la señal PWM.
- SPINDLE_TCCRA_REGISTER: El registro TCCR2A controla las configuraciones relacionadas con la generación PWM en el canal A Timer/Counter 2.
- SPINDLE_TCCRB_REGISTER: El registro TCCR2B controla las configuraciones adicionales con la generación PWM en el canal A Timer/Counter 2.

- SPINDLE_OCR_REGISTER: Este registro OCR2A se utiliza para establecer el valor de comparación, la diferencia entre el valor de registro y el contador del temporizador determina el ancho del pulso.

En el código del anexo 11 viene predeterminado en modo PWM rápido de 8 bits escalado, ya que se utiliza $((1 \ll WGM20) | (1 \ll WGM21))$, los bits WGM20 y WGM21 son parte de SPINDLE_TCCRA_INIT_MASK que se utilizan para configurar el modo de onda del Timer/ Counter. Se establece en 1 para configurar el modo PWM rápido de 8 bits escalado.

La configuración del divisor de reloj viene dada por el bit CS22 en SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK se establece en 1 para configurar el divisor de reloj del Temp/Counter, se selecciona un divisor de reloj de 1/64 para ajustar la frecuencia de la señal PWM generada.

5.8 Selección del entorno de desarrollo

En el entorno de desarrollo se sube al firmware del microcontrolador, además, el código es modificable, lo que permite agregar líneas de código específicas para algún motor.

Existen variedad de entornos de desarrollo, pero se requiere un entorno más factible de entender y de utilizar.

Tabla 14:

Selección del software de programación del ATmega328P

Software	Fácil manejo	Interfaz de usuario intuitivo	Limitante para proyectos más avanzados	Total
IDE de Arduino	5	5	3	13
Atmel Studio	3	3	5	11
PlatformIO	3	4	4	11

Nota: Tabla de selección del entorno de desarrollo para programar el ATmega328P. Fuente Propia

De acuerdo a la tabla 14 se selecciona el software IDE de Arduino ya que presenta un mayor puntaje de acuerdo a la tabla comparativa esto es producto de que su plataforma de desarrollo es intuitiva y de fácil utilización.

5.9 Selección de software de anidamiento

El software de anidamiento se utiliza para la optimización del corte en acrílico para que así se ahorre material y tiempo. En la tabla 15 se realiza una tabla comparativa para determinar el software de anidamiento

Tabla 15

Selección de software de anidamiento

Software de anidamiento	Acceso libre	Fácil manejo	Menor tiempo de ordenamiento	Limitaciones de Escalabilidad	Total
Deepnest	5	5	2	4	16
CutList	5	5	3	1	14
Optimizer					
SigmaNest	0	5	5	4	14
Nest&Cut	5	5	5	3	18

Nota: Tabla de selección de software de anidamiento. Fuente Propia

De la tabla 15 se selecciona el software de anidamiento Nest&Cut debido a que presenta un menor tiempo de ordenamiento en comparación con los demás softwares.

5.10 Diagrama de bloques del circuito electrónico

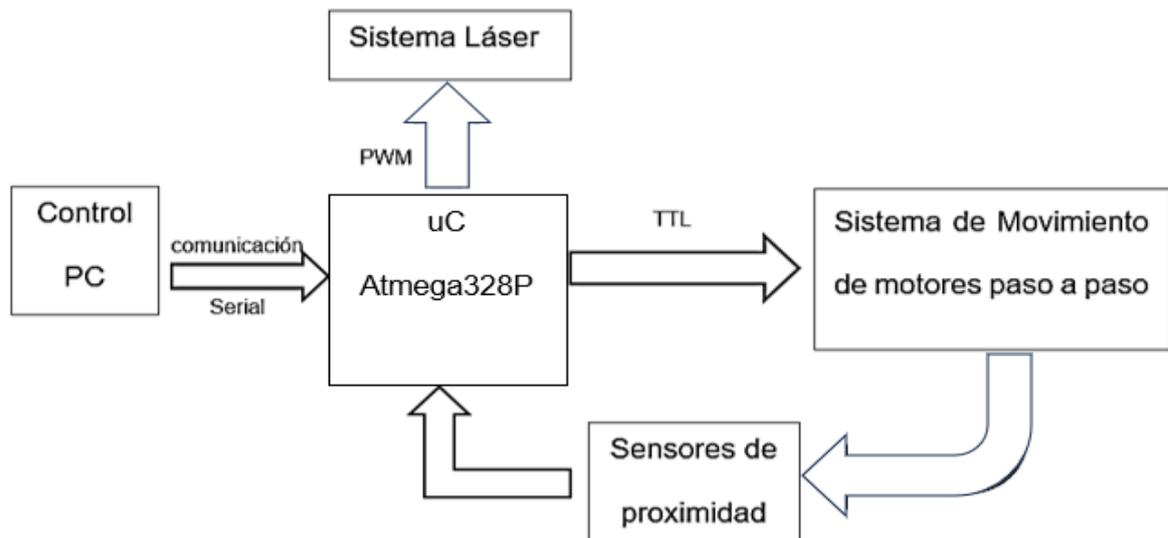
El diagrama de bloques del circuito viene dado por la figura 35 que consiste en que cada sistema cuenta con sus respectivos componentes. El sistema láser está conformado por un tubo laser CO_2 y su fuente de alimentación. El sistema de movimiento de motores paso a paso consiste en el driver, motores y la fuente de alimentación.

Los sensores de proximidad es un mecanismo de protección del sistema de movimiento, si es que se excede de la longitud el sensor lo detecta y desactiva el trabajo

desde el controlador para no ocasionar ningún daño en los componentes, también se utilizan para realizar el ciclo homing que sirve para establecer el punto (0,0) de la maquina CNC.

Figura 35

Diagrama de bloques de la máquina CNC

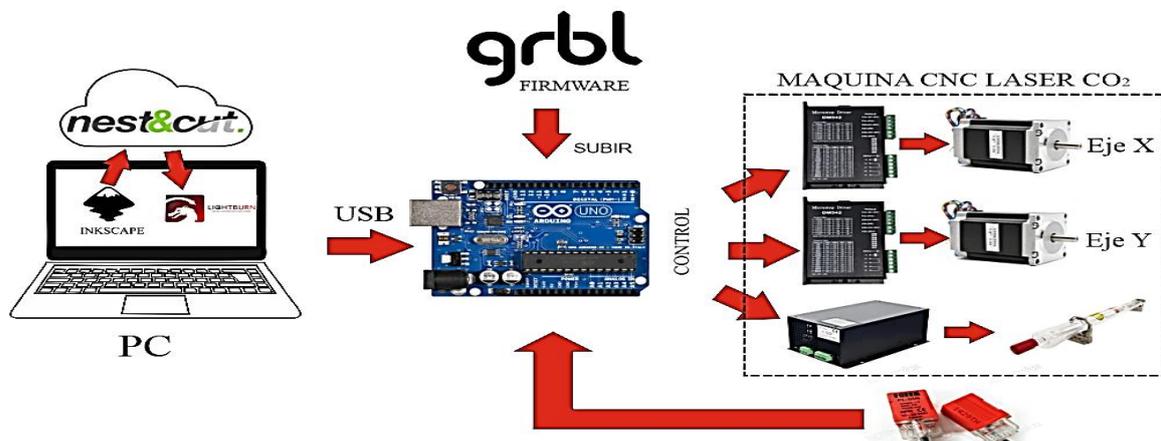


Nota: Diagrama de bloques del uC ATmega328P. Fuente propia

En la figura 36 se muestra el diagrama de funcionamiento de la tarjeta de control y como interacciona con los periféricos de la maquina CNC láser CO_2 desde la creación del diseño en el software Inkscape y pasando posteriormente por el software de anidamiento para luego terminar en el software Lightburn cargando al microcontrolador de lenguaje G y M para controlar los motores paso a paso y el tubo láser CO_2 .

Figura 36

Diagrama de funcionamiento de la tarjeta de control

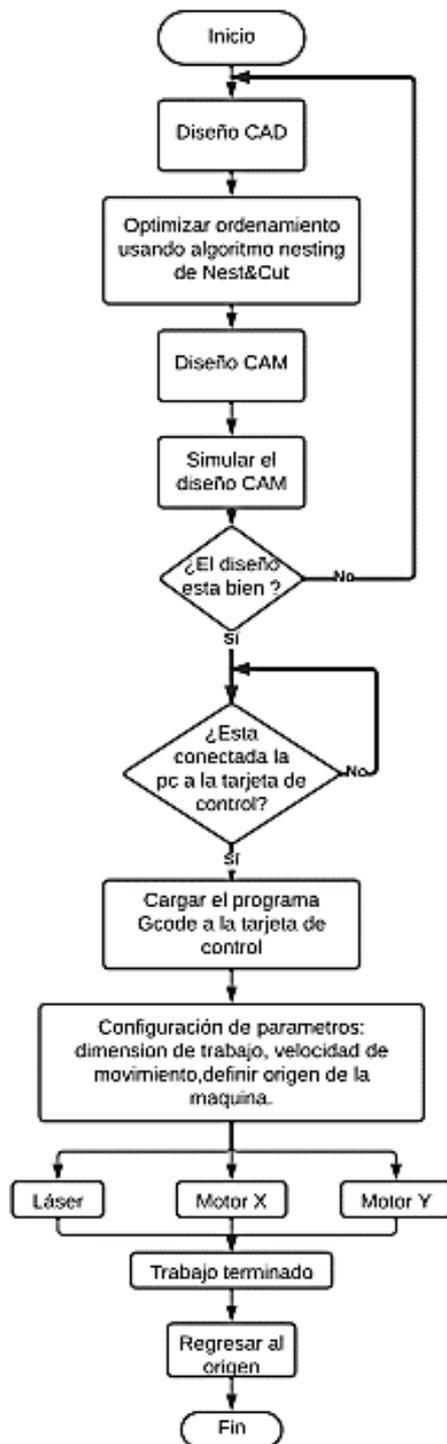


Nota: Diagrama de funcionamiento de la tarjeta de control con los periféricos. Fuente propia

El diagrama de flujo que representa el funcionamiento desde que se tiene el molde del cual se desea cortar hasta el terminado del producto cortado se muestra en la figura 37.

Figura 37

Diagrama de flujo de funcionamiento de la maquina CNC



Nota: Diagrama de flujo de funcionamiento. Fuente propia

5.11 Esquema electrónico general

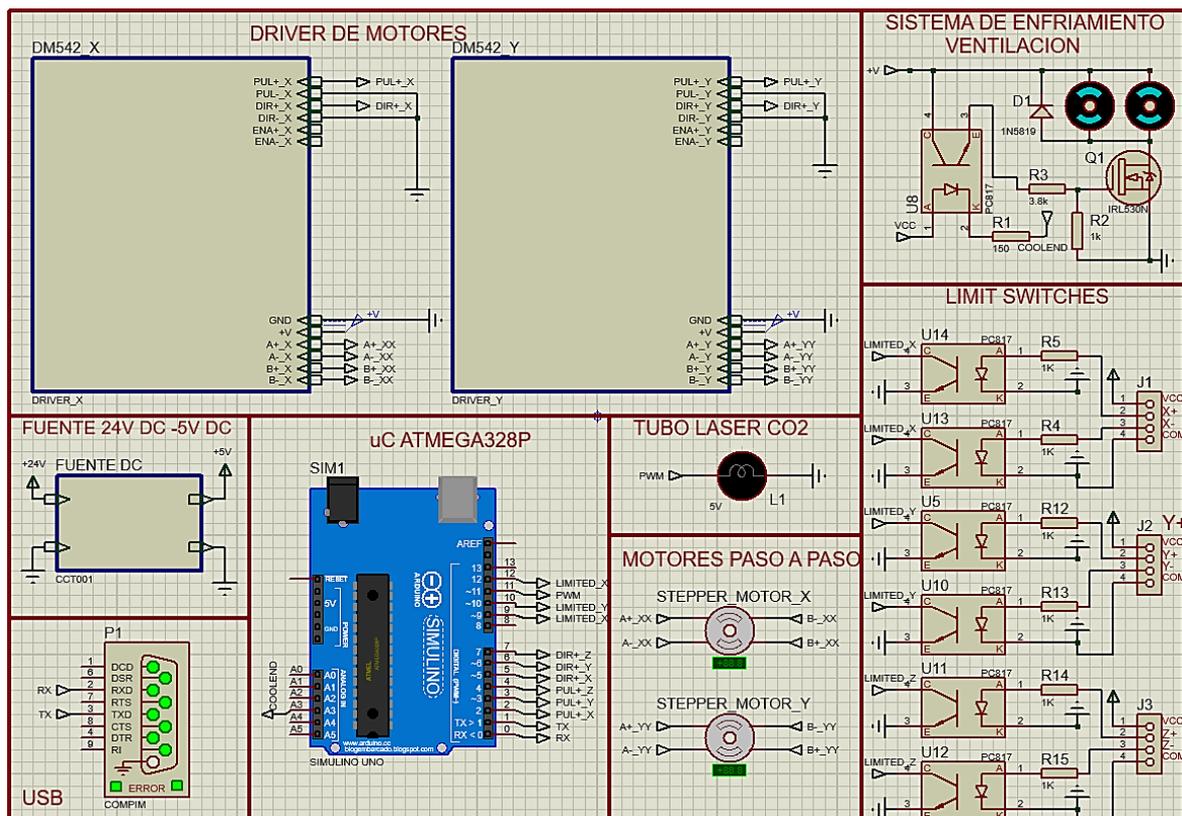
La simulación del esquema electrónico se realiza en el software Proteus 8.11 donde se usa la placa de desarrollo de Arduino Uno basado en el microcontrolador ATmega328P, como se observa en la figura 38.

En la simulación de la conexión del Arduino al software LightBurn se realiza mediante el puerto serie donde se utiliza los puertos virtuales COM1 y COM2. En la simulación del tubo láser de CO_2 se considera como una lámpara incandescente que se alimenta con un voltaje de 5V para el control PWM.

Los finales de carrera de la tarjeta de control se diseñan para 3 ejes; sin embargo, se utiliza solo 2 ejes (eje X y eje Y).

Figura 38

Esquema electrónico



Nota: Esquema electrónico hecho en software Proteus 8.11. Fuente propio

5.12 Diseño 3D de la tarjeta de control

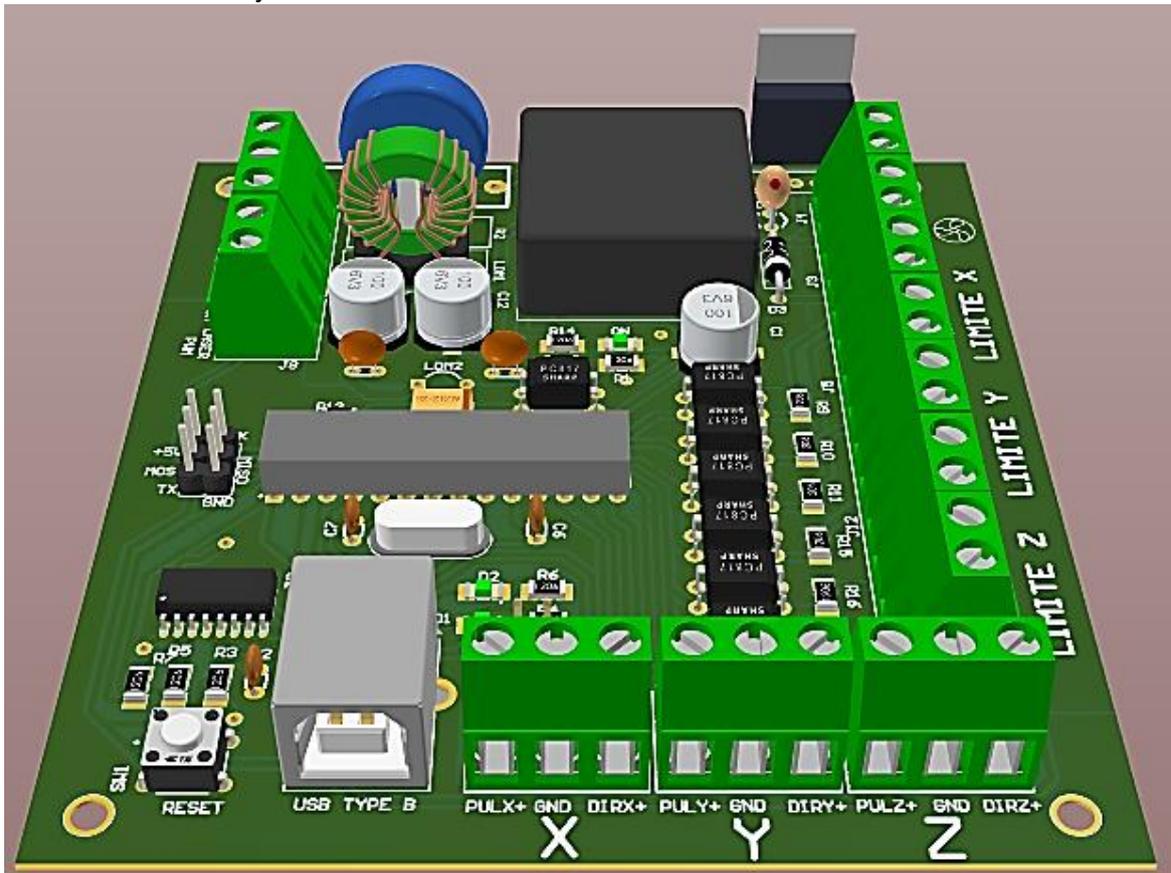
El diseño de la tarjeta de control se realiza en el software Altium Designer, ya que es un software profesional para diseño de tarjetas PCB. El software Altium Designer tiene

una interfaz intuitiva y presenta funciones avanzadas que garantiza un buen diseño. Cabe resaltar que la visualización de la tarjeta de control es en 3D.

El diseño de cada componente se realiza en el software SolidWorks y posteriormente cada pad del componente se asocia con la tarjeta de control. Los componentes se ubican y se rutean en el software Altium Designer de acuerdo a la normativa IPC-2221 como se visualiza en la figura 39.

Figura 39

Diseño 3D de la tarjeta de control



Nota: Diseño de PCB en Altium Designer. Fuente propia

En la figura 39 se visualiza un conector de 6 pines ubicado en la parte delantera del microcontrolador, estos pines se utilizan para cargar el gestor de arranque. La tarjeta de control tiene 4 agujeros de 3mm de diámetro que se utilizan en la instalación.

Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados

En este capítulo se presenta el análisis detallado de los resultados obtenidos

6.1 Análisis de la optimización de corte

El análisis de optimización de corte se realiza calculando el tiempo que se demora en realizar manualmente el molde hasta la obtención de la pieza en acrílico.

El tiempo que demora el operario desde que realiza el marcado con plumón, pasando por el marcado con la cuchilla hasta la obtención de los 4 moldes de ojo de acrílico para las diferentes partes que se necesita, en la tabla 16 se ilustra los 4 tipos de moldes.

Tabla 16

Moldes de acrílico

Molde	Nombre
	Ojo de acrílico grande
	Ojo de acrílico chico
	Ojo de acrílico de mascara
	Ojo de acrílico posterior

Nota: Los 4 tipos de moldes diferentes Fuente Propia

La tabla 16 se tiene los 4 tipos de molde, el ojo de acrílico grande se tiene que realizar en una plancha completa dado que mayormente se requiere transparente y polarizado. Se realiza el diseño y vectorizado del molde en el software Inkscape, utilizando la imagen del molde se dibuja líneas encima de la figura corroborando las medidas exactas del molde para que encuadre en la máscara.

El ojo de acrílico chico y de máscara se realiza en una plancha completa combinado estos dos diferentes moldes dependiendo de la necesidad, se utiliza acrílico rojo, azul o negro. El ojo de acrílico posterior se utiliza de color negro generalmente, los 4 moldes realizados en el software Inkscape se muestran en la tabla 17.

Tabla 17

Moldes de acrílico en software Inkscape

Diseño del molde	Nombre
	Ojo de acrílico grande
	Ojo de acrílico chico
	Ojo de acrílico de máscara
	Ojo de acrílico posterior

Nota: Los 4 tipos de moldes diferentes en software CAD Inkscape Fuente Propia

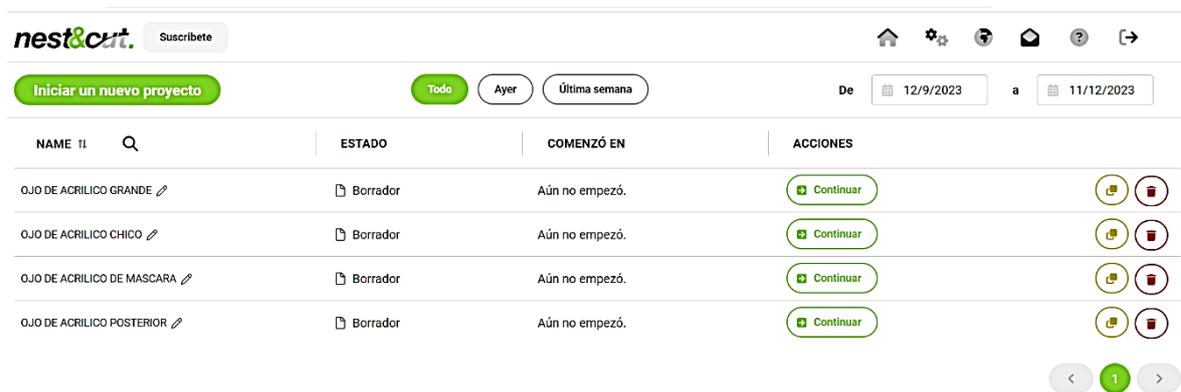
Posteriormente se realiza la actualización de las medidas reales del molde para que no exista variaciones al momento de utilizar las piezas.

Los 4 moldes realizados en el software Inkscape como se observa en la tabla 17, cada línea debe ser única y no tiene que superponerse ninguna línea para que al momento de pasar al software de anidamiento no reconozca 2 líneas en un mismo lugar y al momento de cortar haga doble corte por algún lado, el archivo se guarda en formato dwg o dxf.

En la figura 40 se ilustran los moldes de acrílico que se cargó en el software de anidamiento para que se pueda optimizar, en cada proyecto hay un molde de ojo de acrílico.

Figura 40

Creación de los proyectos para cada molde



The screenshot shows the 'nest&cut' software interface. At the top, there is a navigation bar with a home icon, settings, a globe, a mail icon, a help icon, and a refresh icon. Below the navigation bar, there is a green button labeled 'Iniciar un nuevo proyecto' and three filter buttons: 'Todo', 'Ayer', and 'Última semana'. To the right, there is a date range selector showing 'De 12/9/2023 a 11/12/2023'. Below this is a table with the following columns: 'NAME', 'ESTADO', 'COMENZÓ EN', and 'ACCIONES'. The table contains four rows, each representing a project for an acrylic eye mold. Each row has a 'Continuar' button and two circular icons (one with a plus sign and one with a minus sign). At the bottom right of the table, there is a pagination control showing a green circle with the number '1' and arrows for navigation.

NAME	ESTADO	COMENZÓ EN	ACCIONES
OJO DE ACRILICO GRANDE	Borrador	Aún no empezó.	Continuar
OJO DE ACRILICO CHICO	Borrador	Aún no empezó.	Continuar
OJO DE ACRILICO DE MASCARA	Borrador	Aún no empezó.	Continuar
OJO DE ACRILICO POSTERIOR	Borrador	Aún no empezó.	Continuar

Nota: Los proyectos contiene un molde cada uno. Fuente propia

Luego que se cargaron los moldes en el software de anidamiento en cada proyecto se define la cantidad de piezas que se requiere en cada plancha de acrílico por cada molde como se ilustra en la figura 41.

Figura 41

Definir la cantidad de piezas por plancha



The screenshot shows the 'nest&cut' software interface in a configuration mode. At the top, there is a navigation bar with a home icon, settings, a globe, a mail icon, a help icon, and a refresh icon. Below the navigation bar, there is a green arrow pointing right with the number '1' and the word 'Conjunto'. To the right of the arrow, there is a green circle with the number '2' and the word 'Anidado'. Further right, there is a green circle with the number '3' and the word 'Cortar'. Below this, there is a section labeled 'Piezas' with two buttons: 'Importar más piezas' and 'Cantidades de importación'. Below this, there is a table with the following columns: 'NOMBRE DEL FICHERO', 'CANTIDAD', 'LONGITUD', 'ALTURA', and 'CONFIGURACIÓN'. The table contains one row for the project 'MOLDE DE OJO DE ACRILICO GRANDE'. Below the table, there is a preview of the mold and a control panel with a minus sign, a plus sign, and a trash icon. The control panel shows the number '1' and the words '+10' and '+100'. To the right of the control panel, there are two numerical values: '421.42 mm' and '1050 mm'. At the bottom right, there are three icons: a grid, a plus sign, and a minus sign.

NOMBRE DEL FICHERO	CANTIDAD	LONGITUD	ALTURA	CONFIGURACIÓN
MOLDE DE OJO DE ACRILICO GRANDE	0	421.42 mm	1050 mm	

Nota: Los proyectos contiene un molde cada uno. Fuente propia

Se define el tamaño del material a cortar y posteriormente se proceda a optimizar como se muestra en la figura 42.

Figura 42

Definir el tamaño del acrílico



Nota: Configuración del largo y ancho del acrílico en el software de anidamiento. Fuente propia

Luego se define el optimizado que se requiere de acuerdo con el tiempo y el resultado de ordenamiento es directamente proporcional al tiempo, es decir mayor tiempo en anidamiento entonces mayor es el ordenamiento que se obtiene. El tiempo de ordenamiento nesting del software es de 10, 30, 60, 150 y 300 segundos para escoger.

Las opciones de anidamiento tienen margen de pieza que se considera como factor de seguridad entre cada figura es cual es de 3 mm, para que así no interfiera con las demás piezas, el margen al borde de la superficie tendrá un factor de seguridad de 5 mm al borde de la plancha de acrílico como se muestra en la figura 43.

Figura 43:

Opciones de anidamiento

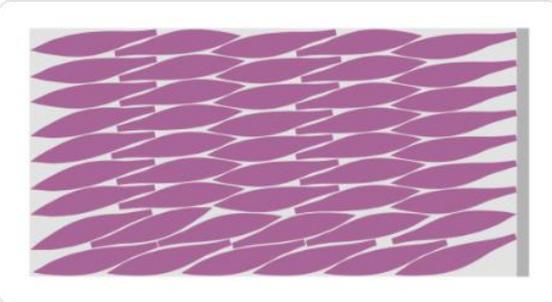
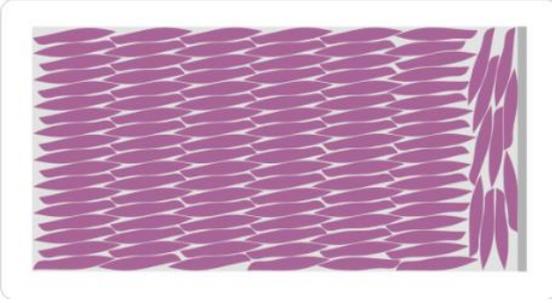


Nota: Opciones de anidamiento según el resultado. Fuente: Nestcut (2020)“software nestcaut”

En la tabla 18 se muestra el anidamiento de cada molde de ojo de acrílico y la cantidad de piezas máxima que entra por cada plancha.

Tabla 18

Anidamiento de los moldes de acrílico en software de anidamiento

Plancha acrílica	Cantidad	Nombre	Tiempo anidado (s)	Diseño molde (s)
	9	Ojo de acrílico grande	300	600
	47	Ojo de acrílico chico	300	360
	37	Ojo de acrílico de máscara	300	480
	117	Ojo de acrílico posterior	300	300

Nota: Anidamiento de los 4 moldes de acrílicos por plancha. Fuente Propia

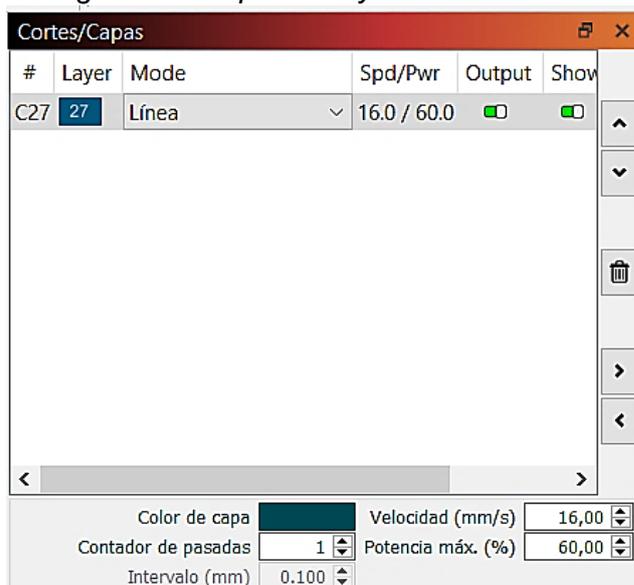
En la tabla 19 se visualiza la cantidad y el tiempo que se demora un operario en cada molde desde el marcado con cuchilla y el corte.

Tabla 19*Tiempo y corte realizado por operario por cada molde*

Molde	Cantidad	Tiempo de corte (min)	Tiempo de moldeo (min)	Tiempo de corte por pieza (min)
Ojo de acrílico grande	6	40	8	8
Ojo de acrílico chico	36	50	30	2.22
Ojo de acrílico de mascara	26	52	25	2.14
Ojo de acrílico posterior	75	60	40	1.6

Nota: Tiempo y cantidad tomado del operario por plancha de acrílico. Fuente Propia

De la tabla 18 en el software de anidamiento se descarga cada plancha con el molde que se desea cortar en formato dxf para luego abrirlo en el software CAM LightBurn y configurar tanto la velocidad como la potencia calculada anteriormente como se muestra en la figura 44.

Figura 44*Configuración de potencia y velocidad*

Nota: Configuración en el software LightBurn de la velocidad y potencia. Fuente LightBurn

El cálculo del tiempo de corte que se realiza para cada molde se usa el software LightBurn para simular el recorrido laser y así obtener el tiempo que demora en realizar el corte para compararlo con lo que realiza el operario como se ilustra en la tabla 20.

Tabla 20

Simulación del tiempo que se toma para cortar cada molde

Simulación de corte	Tiempo de corte total (min)
	23
	62
	55
	103

Nota: Tiempo que se toma en cortar cada molde. Fuente Propia

En la tabla 20 se observa la simulación de recorrido en LightBurn que se carga a la tarjeta de control para luego realizar el corte laser CO_2 como se visualiza en el anexo 12 y al realizarlo existe una variación de tiempo de 2 minutos respecto al tiempo de simulación del software LightBurn, esto es producto de que el controlador tiene que esperar que termine de ejecutarse los comandos para luego continuar con el siguiente comando.

De la tabla 19, 20 y 18 se compara los tiempos que demoran por pieza la tarjeta de control y el operario por cada molde de ojo de acrílico como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21

Comparación de tiempo de corte por pieza

Molde	Tiempo del operario por pieza (min)	Tiempo corte de tarjeta de control (min)
Ojo de acrílico grande	8	2.77
Ojo de acrílico chico	2.22	1.36
Ojo de acrílico de mascara	2.14	1.54
Ojo de acrílico posterior	1.6	0.9

Nota: Comparación de corte del operario con la máquina. Fuente Propia

6.2 Análisis de reducción de desperdicio

En el análisis de reducción de desperdicio se realiza en referencia a la tabla 18 y 19 de la cual se realiza una comparación de cantidades de piezas obtenidas de la misma plancha acrílica, posteriormente se calcula el porcentaje de desperdicio ahorrado, como se visualiza en la tabla 22.

Tabla 22*Comparación piezas por plancha*

Molde	Piezas realizadas por Operario	Piezas software de anidamiento
Ojo de acrílico grande	6	9
Ojo de acrílico chico	36	47
Ojo de acrílico de máscara	26	37
Ojo de acrílico posterior	75	117

Nota: Comparación de cantidad de piezas por plancha de cada molde. Fuente Propia

Obteniendo las cantidades de acrílico por plancha de acuerdo al operario y las cantidades obtenidas por la tarjeta de control se calcula de acuerdo al área, donde se utiliza el software de anidamiento y analizando el total de piezas realizadas por el operario, se obtiene el área que se desperdicia, cabe resaltar que el área del molde siempre es la misma. En la tabla 23 se visualiza la comparación del desperdicio.

Tabla 23*Comparación de desperdicio*

Molde	Desperdicio operario (m²)	Desperdicio tarjeta de control (m²)	Ahorro de material (%)
Ojo de acrílico grande	1.55	0.89	42.58
Ojo de acrílico chico	1.24	0.74	40.32
Ojo de acrílico de mascara	1.38	0.74	46.38
Ojo de acrílico posterior	1.48	0.67	54.73

Nota: Comparación de desperdicios. Fuente Propia

6.3 Costo de la tarjeta de control

El costo de la tarjeta de control viene dado por todos los componentes de la PCB el cual se verá en la tabla 24.

Tabla 24

Componentes de la tarjeta de control

Descripción	Cantidad	Precio unitario (S/)	Precio total (S/)
Microcontrolador ATmega328P	1	28	28
Convertidor DC/DC 24V-5V	1	25	25
Led verde	3	0.2	0.6
CH340C	1	15	15
Optoacoplador PC817	7	0.5	3.5
Botón pulsador	1	0.3	0.3
Resistencia SMD 1206 1K	12	0.1	1.2
Resistencia SMD 1206 150	1	0.1	0.1
Resistencia SMD 1206 3.8k	1	0.1	0.1
Resistencia SMD 1206 1M	1	0.2	0.2
USB tipo B	1	3	3
Diodo SCHOTTKY 1N5819	1	2.50	2.50
MOSFET IRL530N	1	5	5
Conector de bloques de 2 pines	8	1	8
Conector de bloques de 3 pines	4	1.5	6
Varistor 14D560K	1	8	8
Inductor modo común 10mH	1	4.50	4.50
Inductor modo diferencial 10uH	1	0.5	0.5
Capacitor electrolítico 100uF	2	2	4
Capacitor electrolítico 220uF	1	3	3

Capacitor cerámico 22pF	2	0.1	0.2
Capacitor cerámico 1uF	2	0.1	0.2
Capacitor cerámico 100nF	2	0.1	0.2
Capacitor de tantalio 15uF	1	4	4
Capacitor de seguridad 1nF/250Vac	1	3	3
Cristal 16Mhz	1	6	6
Header de 6 pines macho	1	2	2
Porta fusible y fusible	1	3.5	3.50
Circuito impreso color verde	1	10.5	10.5
Total (S/)			148.10

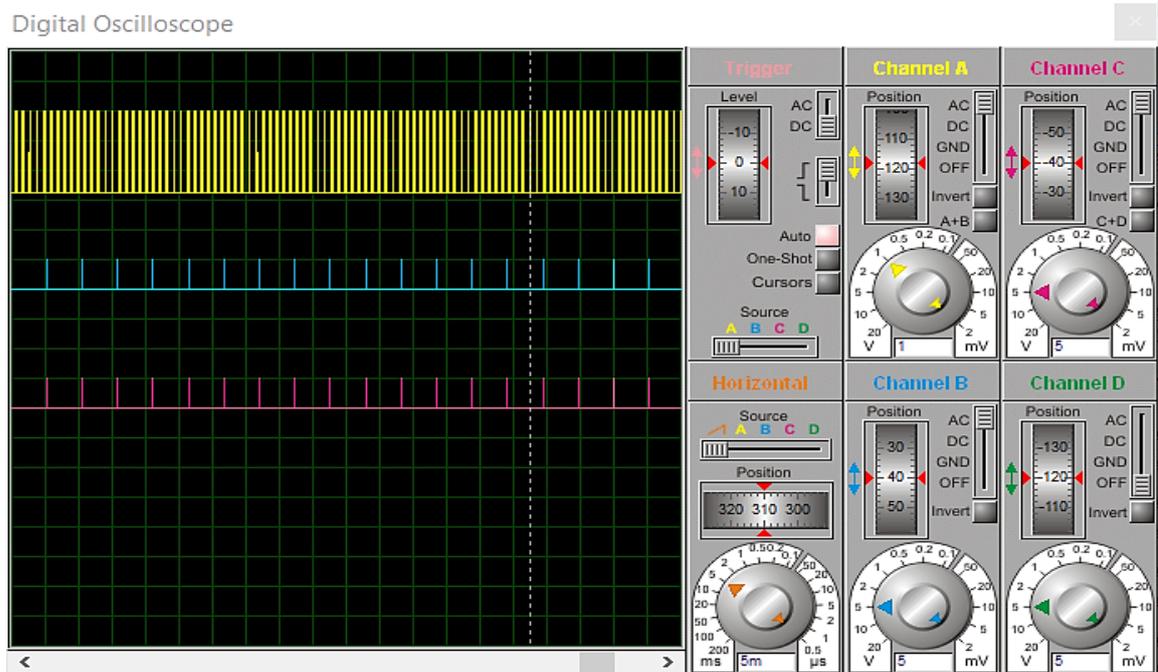
Nota: Precios y cantidad de cada componente. Fuente Propia

6.4 Análisis de simulación de la tarjeta de control

La simulación de la tarjeta de control se lleva a cabo en el software Proteus 8.11 analizando la salida de control PWM y las salidas PUL+_X y PUL+_Y como se muestra en la figura 45.

Figura 45

Simulación de salidas de la tarjeta de control



Nota: Grafico amarillo es del láser, azul es del motor X y rojo del motor Y. Fuente propia

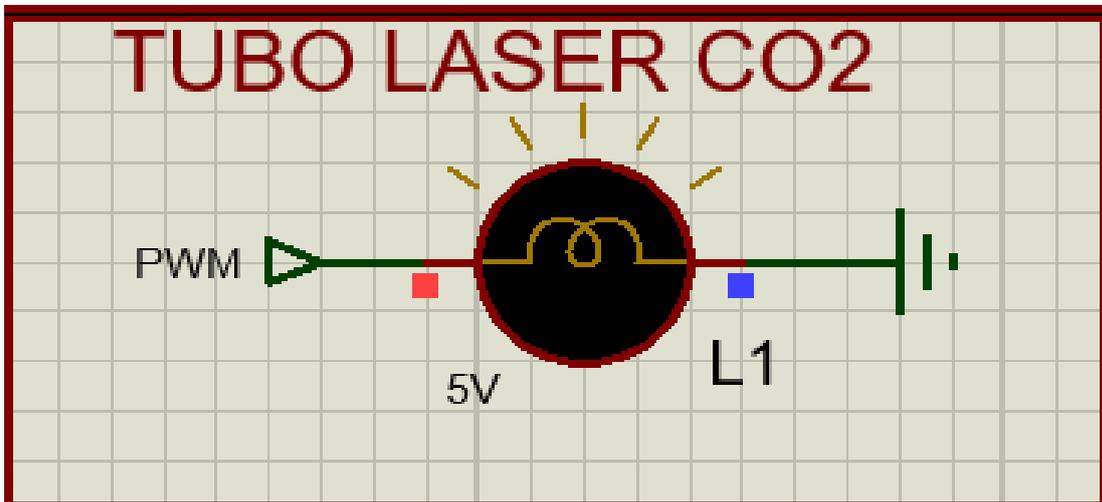
En la figura 45 se obtiene de una instrucción en código G desde el software LightBurn para activar y corroborar el funcionamiento de la señal PWM del láser, esto se realiza al 20% de funcionamiento.

La gráfica de color azul representa los pulsos del driver para el motor X y el gráfico de color rojo representa los pulsos del driver para el motor Y.

En la figura 46 se ilustra una representación del tubo láser CO_2 en el software Proteus a un 20% de potencia.

Figura 46:

Simulación de control PWM del láser

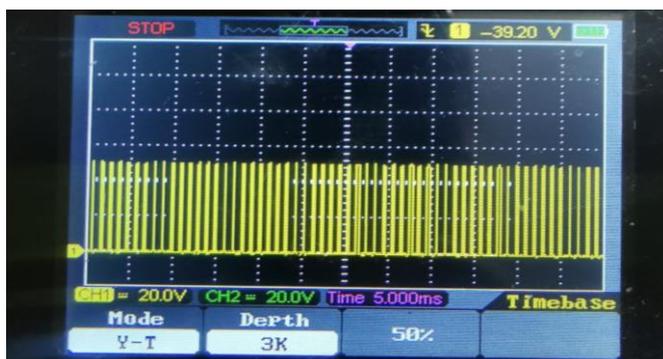


Nota: Representación del tubo laser CO_2 . Fuente propia

La tarjeta de control de la máquina CNC láser de CO_2 se corrobora las salidas de control para el tubo laser medido por un osciloscopio de 2 canales como se ilustra en la figura 47.

Figura 47:

Medición de la señal de control PWM del láser



Nota: Medición realizado en osciloscopio Hantek 2D42 . Fuente propia

Las señales de control para los motores paso a paso se realizan mediante el software LightBurn enviando pulsos para su medición como se muestra en la figura 48 y figura 49.

Figura 48:

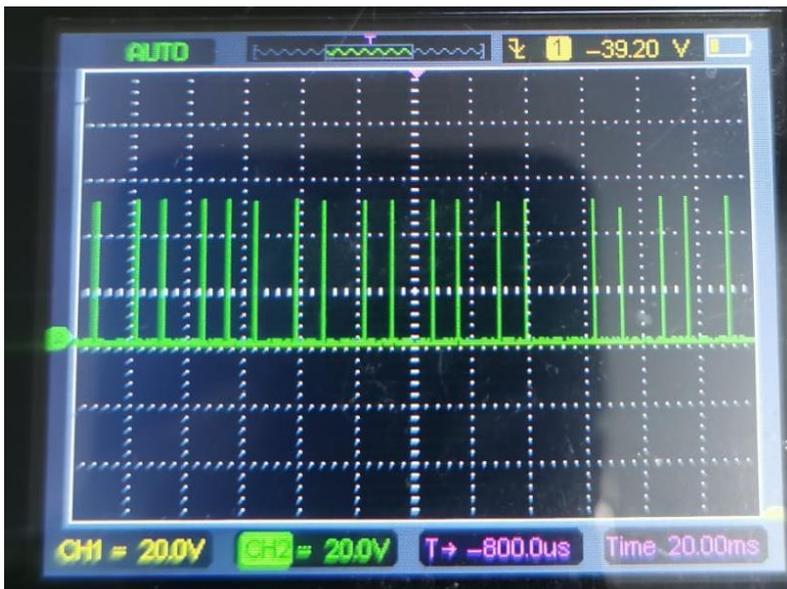
Medición de la señal PUL+_X del motor X



Nota: Medición realizado en osciloscopio Hantek 2D42 . Fuente propia

Figura 49:

Medición de la señal PUL+_Y del motor Y



Nota: Medición realizado en osciloscopio Hantek 2D42 . Fuente propia

Conclusiones

- Se verifica la optimización haciendo que el tiempo por cada pieza de molde de acrílico se reduzca en 5.23 minutos para el ojo de acrílico grande, 0.86 minutos para el ojo de acrílico chico, 3.29 minutos para el ojo de acrílico de máscara y 1.44 minutos para el ojo de acrílico posterior.
- Se demuestra que la optimización mediante el controlador de la máquina CNC láser de CO_2 aumenta el porcentaje de piezas en 50% para el ojo de acrílico grande, 30.5% para el ojo de acrílico chico, 42% para el ojo de acrílico de máscara y 56% para el ojo de acrílico posterior reduciendo costos.
- Se evidencia un ahorro de material, registrando porcentajes significativos como el 42.58% para el ojo de acrílico grande, 40.32% para el ojo de acrílico chico, 46.38% para el ojo de acrílico de máscara y 54.73% para el ojo de acrílico posterior permitiendo colocar más piezas por plancha acrílica.
- Se confirma que la señal PWM del láser CO_2 realizado en la simulación coincide con la medición real de la tarjeta de control, así como las señales de los motores paso a paso en la simulación, las cuales son consistentes con las mediciones reales.

Recomendaciones

- Se recomienda integrar una pantalla a la tarjeta de control que no solo sirva como interfaz visual, sino que también permite cargar programas directamente en el sistema, permitiendo un funcionamiento más intuitivo y eficiente, eliminando la dependencia total de un ordenador externo.
- Se recomienda integrar en la tarjeta de control las funciones Wi-Fi y Bluetooth, esta integración no solo permite un control remoto eficaz desde dispositivos como ordenadores y teléfonos móviles, sino que también ayuda a modernizar y adaptar a entornos de trabajo modernos facilitando el control y monitoreo remoto, brindando a los usuarios la capacidad de monitorear y ajustar de manera conveniente y efectiva los parámetros de la máquina.
- Se recomienda realizar una revisión detallada de los caminos asociados con cada vectorización para evitar la superposición de vectores, esta verificación minuciosa es necesaria para asegurar la integridad y precisión de las líneas durante el proceso de vectorización, así como para prevenir complicaciones o errores que puedan ocurrir en etapas posteriores.
- Se recomienda la implementación de un circuito de seguridad en la tarjeta de control para el tubo laser de CO₂ que servirá como un sistema de protección adicional para prevenir posibles incidentes de quemaduras, asegurando así un entorno de trabajo seguro y confiable.

Referencias bibliográficas

- A.M. Lastres - Aleaga, J. A.-R.-G. (2010). *Optimización de la distribución de piezas irregulares en chapas.*
- Ana Pamela Castro Martin, D. F. (2015). *Diseño y construcción de una máquina CNC para el corte y grabado en madera utilizando láser de CO2, implementado con hardware y software de uso libre como sistema de control.*
- Artaveytia Facundo, J. G. (2013). *Sensor capacitivo.*
- Benjamin Alonso, R. B. (2010). *El láser, la luz de nuestro tiempo.* Obtenido de https://laser.usal.es/posgrado/wp-content/uploads/2012/03/EI_laser.pdf
- Bilmes, G. M. (1992). *Láser.*
- BK, F. L. (2018). *Electronica de Potencia.* Obtenido de Electronica de Potencia: <https://eletronicadepotencia.com/transistor-mosfet-de-potencia/>
- Cabrera, R. J. (2018). *Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial "MOYA HNOS".* Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28764/1/Tesis%20I.%20M.%20485%20-%20Carvajal%20Cabrera%20Renato%20Joaqu%c3%adn%20%282%29.pdf>
- CAJAMARCA NAULA JUAN DIEGO, T. C. (2017). *Diseño y construcción de un robot cartesiano controlado por código G para grabado láser.*
- Carchipulla, J. E. (2023). *Diseño e implementación de un cuato eje de bajo coste en una cortadora láser de Co2 para el grabado de superficies cilíndricas.*

- Carlos Augusto Ramos Jaramillo, O. H. (2021). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC CON ACOPLAMIENTO FDM PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS EN 3D.*
- Carrion, U. N. (2020). *Relevancia de la ejecución experimental de proyectos de microcontroladores en el aprendizaje de la ingeniería electrónica.*
- Co, J. J. (2012). *Maquinado de grabado láser CO1 1525.*
- Control, I. (2013). *Selección del sensor de proximidad correcto.*
- Cordero, C. R. (2023). Diseño de una máquina de control numérico computarizado (CNC) láser para aumentar la productividad en el corte de lona que cubre las estructuras de mototaxis. *Tesis. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, Lima, Lima, Peru.*
- Delgado, L. M. (2019). *Diseño y fabricación de una máquina CNC de corte láser multipropósito.*
- Dielect. (2023). *Átmega 328 P.*
- Electrotec. (2023). *Modulación de ancho de pulso.*
- Espinosa, F. S. (2021). *El microcontrolador ATmega328P de Microchip.*
- Espinoza, A. R. (2015). *DISEÑO DE UNA CORTADORA LÁSER CNC DE CO2 PARA ACRILICOS Y MADERA.*
- Fotek. (2016). *Sensor de proximidad.*

- Francisco André Fernández Santos, A. C. (2020). *Diseño de un sistema de grabado y corte mediante un escáner.*
- García, M. A. (2011). *Diseño y desarrollo de un sistema anticollision con sensores de proximidad sin contacto.*
- Hi-link. (2021). *Convertidor DC/DC.*
- Holtz, J. (2015). *PWM avanzado y control predictivo: Descripción general.*
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2022). Style IEEE. *Journal*, 1(1), 1-33.
- J. Marcos, C. Q. (2009). *Maqueta para la enseñanza de los sensores de ultrasonidos.*
- J.M.Vilas, J. y. (1970). *Sistema multimedia para la enseñanza de los sensores de proximidad.*
- Jose Gabriel Arpi Trujillo, D. R. (2013). *Implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser.*
- látina, C. e. (2018). *Estudio económico de américa latina y el caribe.* Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/9107e394-bc61-4853-bfd1-f58332143eaf/content>
- Leadshine. (2012). *Manual de usuario del driver DM542.*
- Leadshine. (2013). *Motor 57CM23-3A.* Obtenido de <https://www.leadshine.com/product-detail/stepper-motor/stepper/57CM23-3A.html>
- Leadshine. (2018). *Manual de usuario DM542.*

Leadshine Technology Co., Ltd. (2023). *Leadshine*. Obtenido de Leadshine:
<https://www.leadshine.com/>

Lema, L. F. (2015). *SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO ABIERTO Y CERRADO DE VOLTAJE PARA DETERMINAR EL ERROR EN ESTADO ESTABLE A DIFERENTES PULSOS DE ENTRADA EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA FICM*.

M. Steen, W., & Mazumder, J. (2010).

mantechmachinery. (2023). Obtenido de
<https://mantechmachinery.co.uk/es/par%C3%A1metros-de-corte-por-l%C3%A1ser/>

María, A. D. (1973). *Revisión de los láseres de CO2 de alta potencia CW*. Obtenido de
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1451083>

Mario Alberto Perez, A. O. (2007). *“INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO*.

Mata, M. M. (2023). *Implementación de equipo de corte-grabado mediante láser CO2 como equipo de prácticas docentes*.

Mazumder, W. M. (2010). *Laser Material Processing*. Obtenido de https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20MATERIAL%20DESIGN/epdf.pub_laser-material-processing.pdf

Microchip. (2015). *Atmega 328 P*.

microPaP. (2006). *Motores paso a paso , aproximación teórica.*

Monestel, K. V. (2012). *Edición de graficos con inkscape y gimp.*

Nestcut. (2020). *software nestcut.*

Nestor, G. (2006). *Los motores paso a paso.*

París, A. P. (2000). *MOTORES PASO A PASO , INTRODUCCION A SU FUNCIONAMIENTO Y CONTROL EN LAZO ABIERTO.*

Pérez, E. A. (2015). *Diseño de una cortadora láser CNC de CO2 para acrílicos y madera.*

Plata, D. d. (2013). *SISTEMAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (SCNC).*

QCAD.ORG. (2023). *Tutorial: Anidamiento.*

RECI. (2022). *Laser de CO2.* Obtenido de <https://www.reci-laser.com/co%e2%82%82-laser-tube/co%e2%82%82-laser-tube-w-series/>

S.A., A. (2022). *Láminas de acrílico.*

S.A.C, P. C. (2023). *Are de trabajo para el corte de acrílico.*

Salvatierra, I. R. (2020). *Equipo para marcado y corte de materiales con tecnología láser y plasma.*

Siliconix, V. (2008). *Curva características 25°C.*

SPT. (2013). *Fuente de alimentación láser.*

SPT. (2013). *Tubo láser de CO2 serie C*.

SPT Laser Technology Co., Ltd. (2013). *SPT STABILITY AT THE CORE*. Obtenido de SPT STABILITY AT THE CORE: <https://www.sptlaser.net/>

Tantaruna, R. A. (2005). *Reemplazo del sistema analógico de control de maquinado de un torno vertical de tres ejes, por un sistema computarizado de control CNC*.

TEYU. (2021). *Tubo de vidrio para láser de CO2*. Obtenido de https://www.teyuchiller.com/es/blog/co2-laser-glass-tube-vs-co2-laser-metal-tube-which-is-better_b1176

UNCTAD. (2018). *Ranking en la preparación para tecnologías de frontera*. Obtenido de https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020overview_es.pdf

Victor Pozo, E. D. (2018). *Conteo automático de cubos en evaluación de destreza manual*.

William M. Steen, J. M. (2010). *Laser Material Processing*.

Zegarra, P. E. (2021). *Diseño de sistema integrado CNC para reducir tiempos de fabricación y espacio de procesos en la empresa Gami SAC Trujillo*.

Anexos

Anexo 1: Ficha técnica del acrílico	1
Anexo 2: Curva velocidad (RPM) vs torque (N.m) del motor paso a paso	2
Anexo 3: Hoja de datos diodo 1N5819	3
Anexo 4: Hoja de datos del ventilador	4
Anexo 5: Hoja de datos del MOSFET	5
Anexo 6: Hoja de datos del optoacoplador	7
Anexo 7: Hoja de datos de sensores inductivos	8
Anexo 8: Hoja de datos del convertor DC/DC	9
Anexo 9: Parámetros de configuración de GRBL	12
Anexo 10: Comandos gcode de GRBL	13
Anexo 11: Código cpu_map de GRBL	14
Anexo 12: Simulación de la tarjeta de control	24

ACRILICOS S.A.



(506) 2258-0858

(506) 2222-0265
ventas@acrilicos.com

Ficha Técnica

LÁMINA DE ACRÍLICO

Ver 14-09

Descripción: Polímero de Metilmetacrilato

Termoplástico tipo éster amorfo transparente e incoloro de gran dureza. Posee una alta resistencia a la tracción e impacto y una excelente claridad. Resiste bien a la intemperie, siendo el material plástico más resistente en estas condiciones (incluyendo sol, lluvia, niebla, salina y polución). No amarillea ni presenta fisuras frente a la acción de los rayos UV.

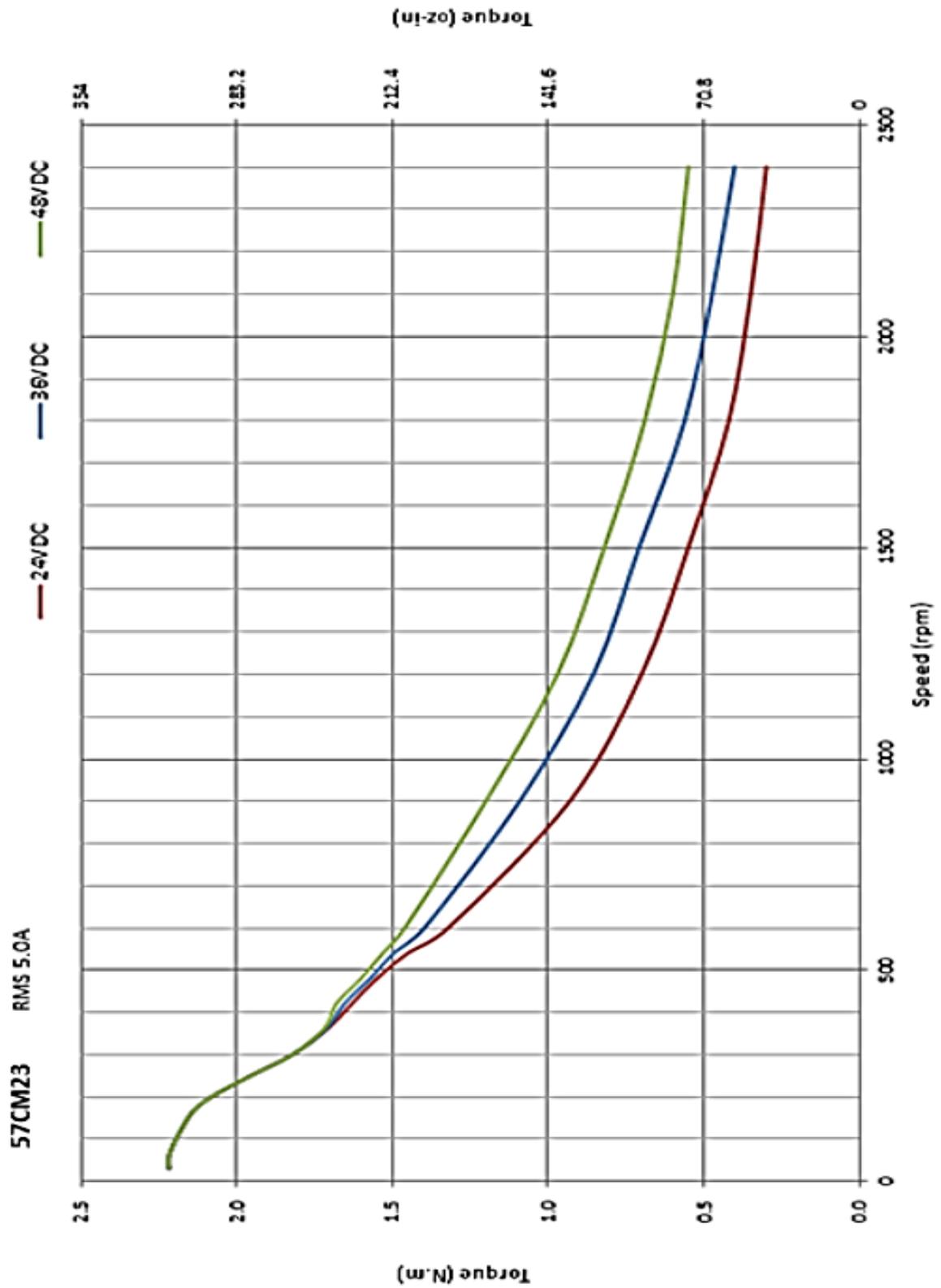
Características:

- Altísima transparencia, incluso más transparente que el cristal.
- Liviano.
- Alta resistencia a los agentes atmosféricos e intemperie.
- Resistente a la rotura.
- Resistente a agentes químicos.
- Óptima calidad óptica, no distorsiona la imagen.
- Gran variedad de colores y acabados.
- Reciclable al 100%
- Termo moldeable

Dimensiones Habituales

Espesor:	1.5mm hasta 24mm
Tolerancia en espesor:	± 10%
Formatos:	1220mm x 1830mm 1220mm x 2440mm 1830mm x 2440mm
Tolerancia en formato:	± 1%

Anexo 2: Curva velocidad (RPM) vs torque (N.m) del motor paso a paso



Anexo 3: Hoja de datos diodo 1N5819

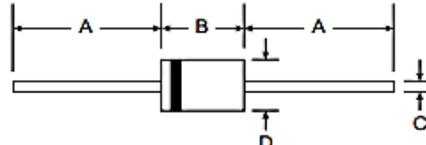


1N5817 - 1N5819

1.0A SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER

Features

- Guard Ring Die Construction for Transient Protection
- Low Power Loss, High Efficiency
- High Surge Capability
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- For Use in Low Voltage, High Frequency Inverters, Free Wheeling, and Polarity Protection Application
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 5)



Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Terminals: Finish — Tin. Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number and Date Code
- Weight: 0.3 grams (approximate)

DO-41 Plastic		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	4.06	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N5817	1N5818	1N5819	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	20	30	40	V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	14	21	28	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ $T_L = 90^\circ\text{C}$	I_O	1.0			A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	25			A
Forward Voltage (Note 2) @ $I_F = 1.0\text{A}$ @ $I_F = 3.0\text{A}$	V_{FM}	0.450 0.750	0.550 0.875	0.60 0.90	V
Peak Reverse Leakage Current at Rated DC Blocking Voltage (Note 2) @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ @ $T_A = 100^\circ\text{C}$	I_{RM}	1.0 10			mA
Typical Total Capacitance (Note 3)	C_T	110			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Lead (Note 4)	$R_{\theta JL}$	15			°C/W
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	50			
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +125			°C

- Notes:
1. Measured at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Short duration test pulse used to minimize self-heating effect.
 3. Measured at 1.0MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 4. Thermal resistance from junction to lead vertical P.C.B. mounted, 0.375" (9.5mm) lead length with 1.5 x 1.5" (38 x 38mm) copper pads.
 5. RoHS revision 13.2.2003. Glass and High Temperature Solder Exemptions Applied, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.

Anexo 4: Hoja de datos del ventilador

FEATURES

- dual ball bearing
- 120 x 120 mm frame
- multiple speed options
- tachometer signal available
- auto restart



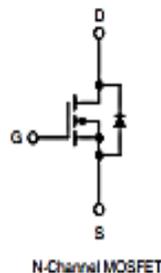
MODEL	Input voltage		input current ² max (A)	input power ² max (W)	rated speed ² typ (RPM±10%)	airflow ² (CFM)	static pressure ³ (inch H ₂ O)	noise ⁴ typ (dBA)
	rated (Vdc)	range (Vdc)						
CFM-A225B-015-287	5	4.5~5.5	0.24	1.20	1,500 ⁵	52.31	0.06	24.8
CFM-A225B-018-327	5	4.5~5.5	0.45	2.25	1,800 ⁵	62.77	0.09	28.8
CFM-A225B-020-350	5	4.5~5.5	0.57	2.85	2,000 ⁵	69.74	0.10	37.8
CFM-A225B-115-287	12	10.8~13.2	0.11	2.76	1,500 ⁵	52.31	0.06	24.8
CFM-A225B-120-350	12	10.8~13.2	0.23	2.76	2,000 ⁵	69.74	0.10	37.8
CFM-A225B-125-398	12	10.8~13.2	0.41	4.92	2,500	87.18	0.13	42.7
CFM-A225B-220-350	24	21.6~26.4	0.17	4.08	2,000 ⁵	69.74	0.10	37.8
CFM-A225B-230-438	24	21.6~26.4	0.30	7.20	3,000	104.62	0.21	46.6
CFM-A238B-126-435	12	10.8~13.2	0.48	5.76	2,600	100.71	0.24	43.5
CFM-A238B-132-480	12	10.8~13.2	0.86	10.32	3,200	123.71	0.34	48.0
CFM-A238B-138-529	12	10.8~13.2	1.10	13.20	3,800	146.90	0.48	53.0
CFM-A238B-226-435	24	21.6~26.4	0.27	6.48	2,600	100.71	0.24	43.5
CFM-A238B-232-480	24	21.6~26.4	0.53	12.72	3,200	123.71	0.34	48.0
CFM-A238B-238-529	24	21.6~26.4	0.58	13.92	3,800	146.90	0.48	53.0

- Notes:
1. At rated voltage, after 3 minutes.
 2. At rated voltage, room temperature, 65% humidity, 0 inch H₂O static pressure.
 3. At rated voltage, 0 CFM airflow.
 4. Measured in an anechoic chamber as per ISO3745/GB4214-84 at rated voltage, with background noise 20±2 dBA at 1 m from the fan intake.
 5. Typical rated speed is measured as RPM±250 at rated voltage.
 6. All specifications are measured at 25°C, 65% relative humidity unless otherwise specified.

Anexo 5: Hoja de datos del MOSFET

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
V_{DS} (V)	100
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 5.0$ V 0.16
Q_g (Max.) (nC)	28
Q_{gs} (nC)	3.8
Q_{gd} (nC)	14
Configuration	Single



FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Logic-Level Gate Drive
- $R_{DS(on)}$ Specified at $V_{GS} = 4$ V and 5 V
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRL530PbF SiHL530-E3
SnPb	IRL530 SiHL530

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25$ °C, unless otherwise noted)				
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage	V_{DS}	100	V	
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 10		
Continuous Drain Current	V_{GS} at 5.0 V	$T_C = 25$ °C	15	A
		$T_C = 100$ °C	11	
Pulsed Drain Current ^a		60		
Linear Derating Factor		0.59	W/°C	
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	290	mJ	
Repetitive Avalanche Current ^a	I_{AR}	15	A	
Repetitive Avalanche Energy ^a	E_{AR}	8.8	mJ	
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25$ °C	P_D	88	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c	dV/dt	5.5	V/ns	
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	- 55 to + 175	°C	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^d		
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in
			1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DS} = 25$ V, starting $T_J = 25$ °C, $L = 1.9$ mH, $R_{\theta} = 25$ Ω , $I_{AS} = 15$ A (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 15$ A, $dV/dt \leq 140$ A/ μ s, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 175$ °C.
- 1.6 mm from case.

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.7	

SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	100	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}, I_D = 1\text{ mA}$	-	0.14	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	1.0	-	2.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 10$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 100\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 80\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 5.0\text{ V}, I_D = 9.0\text{ A}^b$	-	-	0.16	Ω
		$V_{GS} = 4.0\text{ V}, I_D = 7.5\text{ A}^b$	-	-	0.22	
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 50\text{ V}, I_D = 9.0\text{ A}^b$	6.4	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}, \text{ see fig. 5}$	-	930	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	250	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	57	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 5.0\text{ V}, I_D = 15\text{ A}, V_{DS} = 80\text{ V}, \text{ see fig. 6 and 13}^b$	-	-	28	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	3.8	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	14	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 50\text{ V}, I_D = 15\text{ A}, R_g = 12\text{ }\Omega, R_D = 32\text{ }\Omega, \text{ see fig. 10}^b$	-	4.7	-	ns
Rise Time	t_r		-	100	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	22	-	
Fall Time	t_f		-	48	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S		-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode 	-	-	15	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	60	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 15\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	2.5	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = 15\text{ A}, di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	150	200	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	0.93	1.4	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

Anexo 6: Hoja de datos del optoacoplador

■ Absolute Maximum Ratings $T_a = 25^\circ\text{C}$

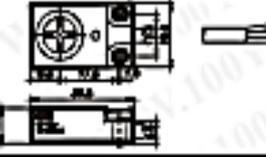
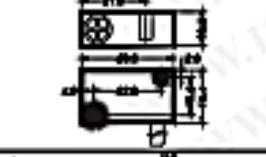
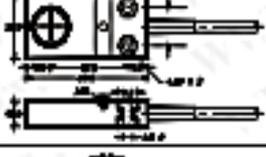
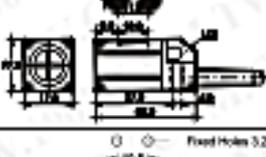
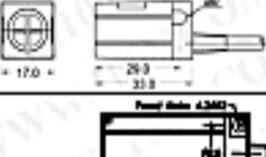
Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input Reverse voltage	V_R	6	V
Collector - Emitter Output Voltage	V_{CEO}	35	
Emitter-Collector Output Voltage	V_{ECO}	6	
Isolation Voltage	V_{ISO}	5000	V_{rms}
Input Forward Current	I_F	50	mA
Input Peak Forward Current (Note.1)	I_{FM}	1	A
Collector Current - Continuous	I_C	50	mA
Input Power Dissipation	P	70	mW
Collector Output Power dissipation	P_C	150	
Total Power Dissipation	P_{tot}	200	
Junction Temperature	T_J	125	°C
Soldering temperature	T_{sol}	260	
Operating Temperature	T_{opr}	-30 to 100	
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to 125	

Note.1:Pulse width $\leq 100\text{ms}$, Duty ratio : 0.001

■ Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Input Forward Voltage	V_F	$I_F = 20\text{ mA}$			1.4	V
Input Peak Forward Voltage	V_{FM}	$I_{FM} = 500\text{ mA}$			3	
Input Reverse Current	I_R	$V_R = 4\text{ V}$			10	μA
Collector-emitter cut-off current	I_{CEO}	$V_{CE} = 20\text{ V}, I_E = 0$			10	
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20\text{ mA}, I_C = 1\text{ mA}$		0.1	0.2	V
Isolation resistance	R_{ISO}	DC 500V, 40 to 60% RH	5×10^{10}	10^{11}		Ω
Current Transfer Ratio	CTR	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_F = 5\text{ mA}$	50		600	%
Rise time	t_r	$V_{CE} = 2\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}, R_L = 100\Omega$		4	18	μS
Fall time	t_f			3	18	
Input Terminal Capacitance	C_t	$V = 0\text{ V}, f = 1\text{ KHz}$		30	250	pF
Floating Capacitance	C_f			0.6	1	
Cut-off frequency	f_c	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}, R_L = 100\Omega$		80		KHz

Anexo 7: Hoja de datos de sensores inductivos

Outline Dimension	Model	Output Method	Sensing Distance	Mounting Method	Sensing Direction	Operating Voltage	Response Frequency
	LS-04N-V	NPN	4.0mm	Non-Flushed	Vertical	10 – 30 VDC	2KHZ
	LS-04P-V	PNP			Horizontal		
	LS-04N	NPN					
	LS-04P	PNP					
	SP-05N	NPN	5.0mm	Non-Flushed	Vertical	10 – 30 VDC	800HZ
	SP-05P	PNP					
	BS-02N	NPN	2.0mm	Flushed	Vertical	10 – 30 VDC	2KHZ
	BS-02P	PNP	4.0mm	Non-Flushed			
	BS-04N	NPN					
	BS-04P	PNP					
	PP-05N	NPN	5.0mm	Flushed	Vertical	10 – 30 VDC	800HZ
	PP-05P	PNP	8.0mm	Non-Flushed			
	PP-08N	NPN					
	PP-08P	PNP					
	PS-04N-V	NPN	4.0mm	Non-Flushed	Vertical	10 – 30 VDC	2KHZ
	PS-04P-V	PNP	4.0mm		Horizontal		
	PS-04N	NPN					
	PS-04P	PNP					
	PS-05N	NPN	5.0mm	Flushed	Horizontal	10 – 30 VDC	800HZ
	PS-05P	PNP	8.0mm	Non-Flushed			
	PS-08N	NPN					
	PS-08P	PNP					
	PL-05N	NPN	5.0mm	Flushed	Horizontal	10 – 30 VDC	800HZ
	PL-05P	PNP	8.0mm	Non-Flushed			
	PL-08N	NPN					
	PL-08P	PNP					
	PS-05S	SCR	5.0mm	Flushed	Horizontal	90 – 250 VAC	20HZ
	PS-08S	SCR	8.0mm	Non-Flushed			
	PS-10N	NPN	10.0mm	Flushed	Horizontal	10 – 30 VDC	500HZ
	PS-10P	PNP	15.0mm	Non-Flushed			
	PS-15N	NPN			10.0mm	Flushed	Horizontal
	PS-15P	PNP					
	PS-10S	SCR	15.0mm	Non-Flushed			
	PS-15S	SCR					

ANEXO 8: Hoja de datos del convertor DC/DC

DC/DC 电源模组

HLK-UR(A)B_YMD-10WR3



典型性能

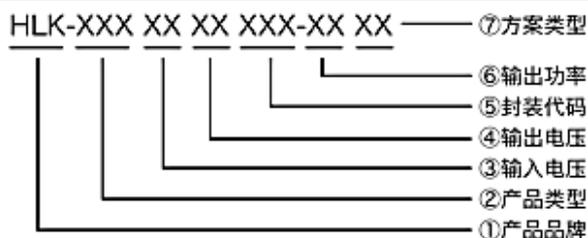
- 超宽范围输入 (4:1)，输出 10W
- 转换效率 91% (Typ)
- 隔离电压 1500Vdc
- 超低待机功耗: 0.036W (典型值)
- 超快速启动: 1mS (典型值)
- 工作温度范围: -40°C~+85°C
- 输入欠压, 输出短路, 过流, 过压
- 金属外壳, 输出纹波低

10W, 超宽电压输入, 隔离稳压单路/双路, DIP 封装,
DC-DC 模块电源



UR(A)B_YMD-10WR3 系列产品输出功率为 10W, 4:1 宽电压输入范围, 效率高达 91%, 1500VDC 的常规隔离电压, 允许工作温度 -40°C to +85°C, 具有输入欠压保护, 输出过压、过流、短路保护功能, 裸机满足 CISPR32/EN55032 CLASSA, 广泛应用于医疗、工控、电力、仪器仪表、通信、铁路等领域。

产品编码规则



产品选型表

认证	产品型号 ^①	输入电压范围 (Vdc)		输出电压/电流		纹波与噪声	最大容性负载	效率@满载
		标称值 ^② (范围值)	最大值	输出电压	输出电流 (mA)	满载 (mVp-p) (TPY/Max.)	μF Max.	% (Min/TP)
	URB2403YMD-10WR3	24 (9-36)	40	3.3	2400/0	30/50	2500	80/82
	URB2405YMD-10WR3			5	2000/0	30/50	2200	83/85
	URB2412YMD-10WR3			12	833/0	50/80	680	87/89
	URB2415YMD-10WR3			15	666/0	50/80	470	88/90
	URB2424YMD-10WR3			24	416/0	50/80	220	89/91
	URA2405YMD-10WR3			±5	±1000/0	30/50	1100	83/85
	URA2412YMD-10WR3			±12	±416/0	50/80	330	86/88
	URA2415YMD-10WR3			±15	±333/0	50/80	220	88/90
	URA2424YMD-10WR3			±24	±208/0	50/80	100	89/91
	URB4803YMD-10WR3			48 (18-75)	80	3.3	2400/0	30/50
	URB4805YMD-10WR3	5	2000/0			30/50	2200	83/85
	URB4812YMD-10WR3	12	833/0			50/80	680	87/89
	URB4815YMD-10WR3	15	666/0			50/80	470	88/90
	URB4824YMD-10WR3	24	416/0			50/80	220	89/91
	URA4805YMD-10WR3	±5	±1000/0			30/50	1100	83/85

测试条件：如无特殊指定，所有参数测试均在标称输入电压、纯阻性额定负载及 25°C 室温环境下测得。

输入特性

项目	工作条件	Min.	Typ.	Max.	单位	
输入电流 (满载/空载)	24VDC 标称输入系列, 标称输入电压	3.3V	-	402/1	413/2	mA
		其它	-	490/1	502/2	
	48VDC 标称输入系列, 标称输入电压	3.3V	-	201/0.5	207/1	
		其它	-	245/0.5	251/1	
	110VDC 标称输入系列, 标称输入电压	3.3V	-	87/0.3	90/0.5	
		其它	-	100/0.3	109/0.5	
反射纹波电流	24VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-	40	-	mA	
	48VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-	30	-		
	110VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-	20	-		
冲击电压 (Isec.max)	24VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-0.7	-	50	VDC	
	48VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-0.7	-	100		
	110VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-0.7	-	200		
启动电压	24VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-	-	9	VDC	
	48VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-	-	18		
	110VDC 标称输入系列, 标称输入电压	-	-	40		
输入欠压保护	24VDC 标称输入系列, 标称输入电压	5.5	6.5	-	mS	
	48VDC 标称输入系列, 标称输入电压	12	15.5	-		
	110VDC 标称输入系列, 标称输入电压	32	36	-		
启动时间	标称输入电压和恒阻负载	-	1	-	mS	
输入滤波器类型		PI 型				
热插拔		不支持				
遥控端 (Ctrl) *	模块开启	Ctrl 悬空或接 TTL 高电平 (3.5-12VDC)				

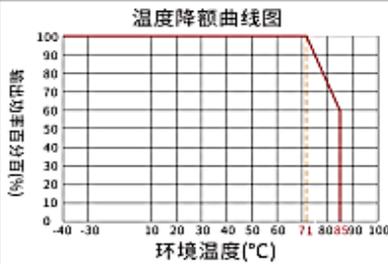
DC/DC 隔离电源模块

该版权及产品最终解释权归深圳海凌科电子科技有限公司所有

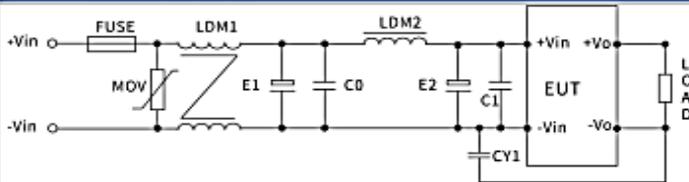
深圳海凌科电子科技有限公司

版本: 2021-4 A/0 页码: 第2页/共6页

温度特性曲线图



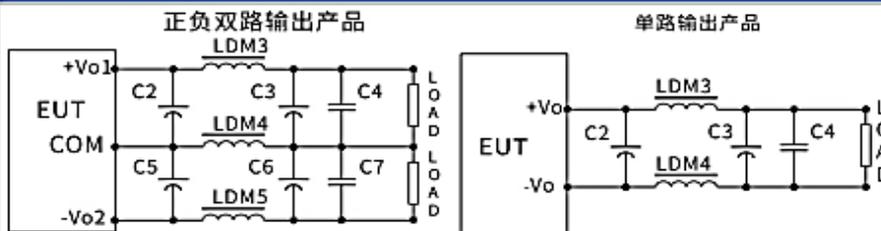
EMC 外围推荐电路



参数推荐：以下为典型参数，实际请按使用环境相应调整

器件代号	24V 输入产品	48V 输入产品	110V 输入产品
FMSE 保险丝	根据客户需求接入相对应的保险丝		
MOV 压敏电阻	14D560K	14D101K	14D201K
LDM1 共模电感	10mH	15mH	30mH
E1、E2 电解电容	100μF/50V	100μF/100V	63μF/200V
C0、C1 陶瓷电容	1μF/50V	1μF/100V	0.47μF/250V
LDM2 差模电感	10μH	15μH	68μH
CY1 安规 Y2 电容	1nF/250Vac		

输出滤波外围推荐电路



对纹波&噪声要求一般时，外围推荐仅使用 C2、C5 即可；对纹波&噪声要求严格时；推荐使用上图电路。

注意：1、C2、C3、C5、C6 使用高频低阻电解电容，且总容量不可超过手册标注的最大容性负载，否则模块将无法正常启动。

2、容性负载时，必须保证 3% 的最小负载，否则会引起模块输出异常。

3、LDM5 仅使用于双路输出产品。

参数推荐：

器件代号	3.3V 输出	±5V 或 5V 输出	±9V/12V 或	±15V 或 15V 输	±24V 或 24V 输
LDM3 电感	0.47μH	1μH	2.2μH	2.2μH	4.7μH
LDM4 电感	0.47μH	1μH	2.2μH	2.2μH	4.7μH
LDM5 电感	-	1μH	2.2μH	2.2μH	4.7μH
C2、C3 电解电	220μF	220μF	100μF	100μF	68μF
C5、C6 电解电	220μF	220μF	100μF	100μF	68μF
C4、C7 陶瓷电	1μF/50V				

Anexo 9: Parámetros de configuración de GRBL

Configuración GRBL	Especificaciones
\$0=10	Pulso de paso, microsegundos
\$1=25	Paso de retardo inactivo, milisegundos
\$2=0	Paso de puerto invertido, máscara
\$3=0	Puerto de dirección invertido, máscara
\$4=0	Paso habilitar invertir, booleano
\$5=0	Limitar pines invertidos, booleano
\$6=0	Pin de sonda invertido, booleano
\$10=1	Informe de estado, máscara
\$11=1800.000	Desviación de la unión, mm
\$12=0.002	Tolerancia de arco, mm
\$13=0	Reporte pulgadas, booleano
\$20=0	Límites suaves booleano
\$21=0	Límites duros, booleanos
\$22=0	Ciclo de homing, booleano
\$23=0	Homing dir invertir, máscara
\$24=25.000	Alimentación homing, mm/min
\$25=300.000	Búsqueda de homing, mm/min
\$26=250	Homing debounce, milisegundos
\$27=1.000	Homing pull-off, mm
\$30=1000	Velocidad máxima de husillo, RPM
\$31=0	Velocidad mínima del husillo, RPM
\$32=1	Modo láser, booleano
\$100=160.000	X pasos/mm
\$101=160.000	Pasos Y/ mm
\$102=250.000	Pasos Z/ mm
\$110=4500.000	X Velocidad máxima, mm/min
\$111=4500.000	Y Velocidad máxima, mm/min
\$112=500.000	Z Velocidad máxima, mm/min
\$120=500.000	X Aceleración, $\frac{mm}{seg^2}$
\$121=500.000	Y Aceleración, $\frac{mm}{seg^2}$
\$122=10.000	Z Aceleración, $\frac{mm}{seg^2}$
\$130=4500.000	X Recorrido máximo, mm
\$131=4500.000	Y Recorrido máximo, mm
\$132=200.000	Z Recorrido máximo, mm

ANEXO 10: Comandos gcode de GRBL

Grupo Modal	Comandos
No modales	G4, G10, G28, G28.1, G30, G30.1, G53, G92, G92.1
Movimiento	G0 , G1, G2, G3, G38.2, G38.3, G38.4, G38.5, G80
Coordenadas del sistema	G54 , G55, G56, G57, G58, G59
Selección de plano	G17 , G18, G19
Modo de distancia	G90 , G91
Distancia para Arcos IJK	G91.1
Velocidad	G93 , G94
Modo de unidades	G20, G21
Compensación del radio de corte	G40
Flujo de programa	M0 , M1, M2, M30
Control de husillo	M3, M4, M5
Control de refrigerante	M7, M8, M9
Control de anulación	M56

ANEXO 11: Código cpu_map de GRBL

/*

cpu_map.h - Archivo de configuración de mapeo de CPU y pines

Parte de Grbl

Derechos de autor (c) 2012-2016 Sungeun K. Jeon para Gnea Research LLC

Grbl es software libre: puedes redistribuirlo y/o modificarlo

bajo los términos de la Licencia Pública General de GNU publicada por

la Fundación de Software Libre, en su versión 3 de la Licencia, o

(a tu elección) cualquier versión posterior.

Grbl se distribuye con la esperanza de que sea útil,

pero SIN NINGUNA GARANTÍA; sin siquiera la garantía implícita de

COMERCIALIZACIÓN o IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR.

Consulta la Licencia Pública General de GNU para obtener más detalles.

Deberías haber recibido una copia de la Licencia Pública General de GNU

junto con Grbl. Si no la has recibido, consulta <<http://www.gnu.org/licenses/>>.

*/

/* Los archivos cpu_map.h sirven como un archivo central de selección de mapeo de pines para diferentes tipos de procesadores o diseños de pines alternativos. Esta versión de Grbl admite oficialmente solo el Arduino Mega328p. */

```
#ifndef cpu_map_h
```

```
#define cpu_map_h
```

```
#ifdef CPU_MAP_ATMEGA328P // (Arduino Uno) Compatible oficialmente con
```

Grbl.

```
// Definir pines de puerto serie y vectores de interrupción.
```

```
#define SERIAL_RX    USART_RX_vect
```

```
#define SERIAL_UDRE  USART_UDRE_vect
```

// Definir pines de salida de pulso de paso. NOTA: Todos los pines de bits de paso deben estar en el mismo puerto.

```

#define STEP_DDR    DDRD
#define STEP_PORT   PORTD
#define X_STEP_BIT  2 // Pin digital 2 de Arduino Uno
#define Y_STEP_BIT  3 // Pin digital 3 de Arduino Uno
#define Z_STEP_BIT  4 // Pin digital 4 de Arduino Uno
#define
                                                    STEP_MASK
((1<<X_STEP_BIT)|(1<<Y_STEP_BIT)|(1<<Z_STEP_BIT)) // Todos los bits de paso

// Definir pines de salida de dirección de paso. NOTA: Todos los pines de dirección
deben estar en el mismo puerto.

#define DIRECTION_DDR    DDRD
#define DIRECTION_PORT   PORTD
#define X_DIRECTION_BIT  5 // Pin digital 5 de Arduino Uno
#define Y_DIRECTION_BIT  6 // Pin digital 6 de Arduino Uno
#define Z_DIRECTION_BIT  7 // Pin digital 7 de Arduino Uno
#define
                                                    DIRECTION_MASK
((1<<X_DIRECTION_BIT)|(1<<Y_DIRECTION_BIT)|(1<<Z_DIRECTION_BIT)) // Todos
los bits de dirección

// Definir pin de habilitación/deshabilitación del controlador de pasos.

#define STEPPERS_DISABLE_DDR    DDRB
#define STEPPERS_DISABLE_PORT   PORTB
#define STEPPERS_DISABLE_BIT    0 // Pin digital 8 de Arduino Uno
#define STEPPERS_DISABLE_MASK  (1<<STEPPERS_DISABLE_BIT)

// Definir pines de entrada de interruptores de límite de inicio/detención y vectores
de interrupción de límite.

// NOTA: Todos los pines de bits de límite deben estar en el mismo puerto, pero
no en un puerto con otros pines de entrada (CONTROL).

#define LIMIT_DDR    DDRB
#define LIMIT_PIN    PINB

```

```

#define LIMIT_PORT    PORTB

#define X_LIMIT_BIT    1 // Pin digital 9 de Arduino Uno

#define Y_LIMIT_BIT    2 // Pin digital 10 de Arduino Uno

#ifdef VARIABLE_SPINDLE // El pin de límite Z y el husillo habilitado se
intercambian para acceder a la modulación por ancho de pulso de hardware en el Pin 11.

    #define Z_LIMIT_BIT    4 // Pin digital 12 de Arduino Uno

#else

    #define Z_LIMIT_BIT    3 // Pin digital 11 de Arduino Uno

#endif

#if !defined(ENABLE_DUAL_AXIS)

    #define

                                LIMIT_MASK

((1<<X_LIMIT_BIT)|(1<<Y_LIMIT_BIT)|(1<<Z_LIMIT_BIT)) // Todos los bits de límite

#endif

#define LIMIT_INT    PCIE0 // Habilitar la interrupción por cambio de pin

#define LIMIT_INT_vect    PCINT0_vect

#define LIMIT_PCMSK    PCMSK0 // Registro de interrupción por cambio de pin

// Definir pines de entrada de controles de usuario (inicio de ciclo, restablecimiento,
detención de avance).

// NOTA: Todos los pines CONTROL deben estar en el mismo puerto y no en un
puerto con otros pines de entrada (límites).

#define CONTROL_DDR    DDRC

#define CONTROL_PIN    PINC

#define CONTROL_PORT    PORTC

#define CONTROL_RESET_BIT    0 // Pin analógico 0 de Arduino Uno

#define CONTROL_FEED_HOLD_BIT    1 // Pin analógico 1 de Arduino Uno

#define CONTROL_CYCLE_START_BIT    2 // Pin analógico 2 de Arduino Uno

```

```
#define CONTROL_SAFETY_DOOR_BIT 1 // Pin analógico 1 de Arduino Uno
```

NOTA: La puerta de seguridad se comparte con la detención de avance. Habilitado por definición de configuración.

```
#define CONTROL_INT PCIE1 // Habilitar la interrupción por cambio de pin
```

```
#define CONTROL_INT_vect PCINT1_vect
```

```
#define CONTROL_PCMSK PCMSK1 // Registro de interrupción por cambio de pin
```

```
#define CONTROL_MASK  
((1<<CONTROL_RESET_BIT)|(1<<CONTROL_FEED_HOLD_BIT)|(1<<CONTROL_CYCLE_START_BIT)|(1<<CONTROL_SAFETY_DOOR_BIT))
```

```
#define CONTROL_INVERT_MASK CONTROL_MASK // Puede volver a definirse para invertir solo ciertos pines de control.
```

```
// Definir pin de entrada del interruptor de sonda.
```

```
#define PROBE_DDR DDRC
```

```
#define PROBE_PIN PINC
```

```
#define PROBE_PORT PORTC
```

```
#define PROBE_BIT 5 // Pin analógico 5 de Arduino Uno
```

```
#define PROBE_MASK (1<<PROBE_BIT)
```

```
#if !defined(ENABLE_DUAL_AXIS)
```

```
// Definir pines de habilitación de refrigerante de inundación y niebla.
```

```
#define COOLANT_FLOOD_DDR DDRC
```

```
#define COOLANT_FLOOD_PORT PORTC
```

```
#define COOLANT_FLOOD_BIT 3 // Pin analógico 3 de Arduino Uno
```

```
#define COOLANT_MIST_DDR DDRC
```

```
#define COOLANT_MIST_PORT PORTC
```

```
#define COOLANT_MIST_BIT 4 // Pin analógico 4 de Arduino Uno
```

```
// Definir pines de habilitación del husillo y dirección del husillo.
```

```
#define SPINDLE_ENABLE_DDR DDRB
```

```

#define SPINDLE_ENABLE_PORT PORTB

// El pin de límite Z y el pin PWM/habilitación del husillo se intercambian para
acceder a la modulación por ancho de pulso de hardware en el Pin 11.

#ifdef VARIABLE_SPINDLE

#ifdef USE_SPINDLE_DIR_AS_ENABLE_PIN

// Si está habilitado, el pin de dirección del husillo ahora se utiliza como
habilitación del husillo, mientras que el PWM permanece en D11.

#define SPINDLE_ENABLE_BIT 5 // Pin digital 13 de Arduino (NOTA: D13
no puede ser una entrada con un alto nivel debido al LED).

#else

#define SPINDLE_ENABLE_BIT 3 // Pin digital 11 de Arduino Uno

#endif

#else

#define SPINDLE_ENABLE_BIT 4 // Pin digital 12 de Arduino Uno

#endif

#ifdef USE_SPINDLE_DIR_AS_ENABLE_PIN

#define SPINDLE_DIRECTION_DDR DDRB

#define SPINDLE_DIRECTION_PORT PORTB

#define SPINDLE_DIRECTION_BIT 5 // Pin digital 13 de Arduino (NOTA: D13
no puede ser una entrada con un alto nivel debido al LED).

#endif

// Configuración de husillo variable a continuación. No cambies a menos que
sepas lo que estás haciendo.

// NOTA: Solo se utiliza cuando se habilita el husillo variable.

#define SPINDLE_PWM_MAX_VALUE 255 // No cambies. El modo PWM
rápido de 328p fija el valor superior en 255.

#ifdef SPINDLE_PWM_MIN_VALUE

```

```

#define SPINDLE_PWM_MIN_VALUE 1 // Debe ser mayor que cero.

#endif

#define SPINDLE_PWM_OFF_VALUE 0

#define SPINDLE_PWM_RANGE (SPINDLE_PWM_MAX_VALUE-
SPINDLE_PWM_MIN_VALUE)

#define SPINDLE_TCCRA_REGISTER TCCR2A
#define SPINDLE_TCCRB_REGISTER TCCR2B
#define SPINDLE_OCR_REGISTER OCR2A
#define SPINDLE_COMB_BIT COM2A1

// Modo PWM rápido de 8 bits escalado.

#define SPINDLE_TCCRA_INIT_MASK ((1<<WGM20) | (1<<WGM21)) //
Configura el modo PWM rápido.

// #define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK (1<<CS20) // Desactiva el
divisor -> 62.5kHz

// #define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK (1<<CS21) // Divisor 1/8 ->
7.8kHz (Usado en v0.9)

// #define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK ((1<<CS21) | (1<<CS20)) // Divisor
1/32 -> 1.96kHz

#define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK (1<<CS22) // Divisor 1/64 ->
0.98kHz (láser J-tech)

// NOTA: En el 328p, estos deben ser los mismos que los ajustes
SPINDLE_ENABLE.

#define SPINDLE_PWM_DDR DDRB
#define SPINDLE_PWM_PORT PORTB
#define SPINDLE_PWM_BIT 3 // Pin digital 11 de Arduino

#else

// La función de doble eje requiere un pin de pulso de paso independiente para
operar. El pin de dirección independiente no es

```

// absolutamente necesario, pero facilita la inversión de dirección con una configuración Grbl \$\$.

```
#ifndef DUAL_AXIS_CONFIG_PROTONEER_V3_51
```

// NOTA: Los pines de pulso de paso y dirección pueden estar en cualquier puerto y pin de salida.

```
#define STEP_DDR_DUAL    DDRC
```

```
#define STEP_PORT_DUAL   PORTC
```

```
#define DUAL_STEP_BIT    4 // Pin analógico 4 de Arduino Uno
```

```
#define STEP_MASK_DUAL   ((1<<DUAL_STEP_BIT))
```

```
#define DIRECTION_DDR_DUAL DDRC
```

```
#define DIRECTION_PORT_DUAL PORTC
```

```
#define DUAL_DIRECTION_BIT 3 // Pin analógico 3 de Arduino Uno
```

```
#define DIRECTION_MASK_DUAL ((1<<DUAL_DIRECTION_BIT))
```

// NOTA: El límite de doble eje se comparte con el pin de límite Z de forma predeterminada. El pin utilizado debe estar en el mismo puerto

// que otros pines de límite.

```
#define DUAL_LIMIT_BIT   Z_LIMIT_BIT
```

```
#define LIMIT_MASK
```

```
((1<<X_LIMIT_BIT)|(1<<Y_LIMIT_BIT)|(1<<Z_LIMIT_BIT)|(1<<DUAL_LIMIT_BIT))
```

// Definir pines de habilitación de refrigerante.

// NOTA: La inundación de refrigerante se movió de A3 a A4. La niebla de refrigerante no es compatible con la función de doble eje en Arduino Uno.

```
#define COOLANT_FLOOD_DDR DDRC
```

```
#define COOLANT_FLOOD_PORT PORTC
```

```
#define COOLANT_FLOOD_BIT 3 // Pin analógico 3 de Arduino Uno
```

// Definir pin de habilitación del husillo.

// NOTA: La habilitación del husillo se movió de D12 a A3 (antiguo pin de habilitación de refrigerante). Se eliminó el pin de dirección del husillo.

```
#define SPINDLE_ENABLE_DDR DDRC
```

```
#define SPINDLE_ENABLE_PORT PORTC
```

```
#ifdef VARIABLE_SPINDLE
```

// NOTA: USE_SPINDLE_DIR_AS_ENABLE_PIN no es compatible con la función de doble eje.

```
#define SPINDLE_ENABLE_BIT 3 // Pin analógico 3 de Arduino Uno
```

```
#else
```

```
#define SPINDLE_ENABLE_BIT 4 // Pin analógico 4 de Arduino Uno
```

```
#endif
```

// Configuración de husillo variable a continuación. No cambies a menos que sepas lo que estás haciendo.

// NOTA: Solo se utiliza cuando se habilita el husillo variable.

```
#define SPINDLE_PWM_MAX_VALUE 255 // No cambies. El modo PWM rápido de 328p fija el valor superior en 255.
```

```
#ifndef SPINDLE_PWM_MIN_VALUE
```

```
#define SPINDLE_PWM_MIN_VALUE 1 // Debe ser mayor que cero.
```

```
#endif
```

```
#define SPINDLE_PWM_OFF_VALUE 0
```

```
#define SPINDLE_PWM_RANGE (SPINDLE_PWM_MAX_VALUE-  
SPINDLE_PWM_MIN_VALUE)
```

```
#define SPINDLE_TCCRA_REGISTER TCCR2A
```

```
#define SPINDLE_TCCRB_REGISTER TCCR2B
```

```
#define SPINDLE_OCR_REGISTER OCR2A
```

```
#define SPINDLE_COMB_BIT COM2A1
```

// Modo PWM rápido de 8 bits escalado.

```

        #define SPINDLE_TCCRA_INIT_MASK ((1<<WGM20) | (1<<WGM21)) //
Configura el modo PWM rápido.

        // #define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK (1<<CS20) // Desactiva el
divisor -> 62.5kHz

        // #define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK (1<<CS21) // Divisor 1/8 ->
7.8kHz (Usado en v0.9)

        // #define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK ((1<<CS21) | (1<<CS20)) // Divisor
1/32 -> 1.96kHz

        #define SPINDLE_TCCRB_INIT_MASK (1<<CS22) // Divisor 1/64 -
> 0.98kHz (láser J-tech)

        // NOTA: En el 328p, estos deben ser los mismos que los ajustes
SPINDLE_ENABLE.

        #define SPINDLE_PWM_DDR DDRB

        #define SPINDLE_PWM_PORT PORTB

#define SPINDLE_PWM_BIT 3 // Pin digital 11 de Arduino

    #endif

    // NOTA: Variable spindle no es compatible con este shield.

    #ifndef DUAL_AXIS_CONFIG_CNC_SHIELD_CLONE

        // NOTA: Los pines de pulso de paso y dirección pueden estar en cualquier
puerto y pin de salida.

        #define STEP_DDR_DUAL DDRB

        #define STEP_PORT_DUAL PORTB

        #define DUAL_STEP_BIT 4 // Pin digital 12 de Arduino

        #define STEP_MASK_DUAL ((1<<DUAL_STEP_BIT))

        #define DIRECTION_DDR_DUAL DDRB

        #define DIRECTION_PORT_DUAL PORTB

        #define DUAL_DIRECTION_BIT 5 // Pin digital 13 de Arduino

        #define DIRECTION_MASK_DUAL ((1<<DUAL_DIRECTION_BIT))

```

// NOTA: La función de doble eje comparte el límite de doble eje con el pin de límite Z de forma predeterminada.

```
#define DUAL_LIMIT_BIT  Z_LIMIT_BIT
```

```
#define LIMIT_MASK
```

```
((1<<X_LIMIT_BIT)|(1<<Y_LIMIT_BIT)|(1<<Z_LIMIT_BIT)|(1<<DUAL_LIMIT_BIT))
```

```
// Definir pines de habilitación de refrigerante.
```

// NOTA: La inundación de refrigerante se movió de A3 a A4. La niebla de refrigerante no es compatible con la función de doble eje en Arduino Uno.

```
#define COOLANT_FLOOD_DDR  DDRC
```

```
#define COOLANT_FLOOD_PORT  PORTC
```

```
#define COOLANT_FLOOD_BIT  4 // Pin analógico 4 de Arduino
```

```
// Definir pin de habilitación del husillo.
```

// NOTA: La habilitación del husillo se movió de D12 a A3 (antiguo pin de habilitación de refrigerante). Se eliminó el pin de dirección del husillo.

```
#define SPINDLE_ENABLE_DDR  DDRC
```

```
#define SPINDLE_ENABLE_PORT  PORTC
```

```
#define SPINDLE_ENABLE_BIT  3 // Pin analógico 3 de Arduino
```

```
#endif
```

```
#endif
```

```
#endif
```

```
/*
```

```
#ifdef CPU_MAP_CUSTOM_PROC
```

// Para un mapa de pines personalizado o un procesador diferente, copia y edita uno de los archivos de mapa de CPU disponibles y modificalo según tus necesidades. Asegúrate de que el nombre definido también se cambie en el archivo config.h.

```
#endif
```

```
*/
```

```
#endif
```

