



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN,
TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

“SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CORTE POR PLASMA PARA LA
EMPRESA INVENIOS 3D “.

Proyecto de Trabajo de Graduación Modalidad: Proyecto de Investigación previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Electrónica de Potencia
AUTOR: Oscar Jefferson Guzmán López
TUTOR: Ing. Mg Mario Geovanni García Carrillo

AMBATO – ECUADOR

Junio 2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: “SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CORTE POR PLASMA PARA LA EMPRESA INVENIOS 3D”, del señor Oscar Jefferson Guzmán López estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, junio 2019

TUTOR



Ing. Mario García, Mg

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: “SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CORTE POR PLASMA PARA LA EMPRESA INVENIOS 3D”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, junio 2019



Guzmán López Oscar Jefferson

CC: 0201577160

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, junio 2019



Guzmán López Oscar Jefferson

CC: 0201577160

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los Señores Docentes Ing. Julio Cuji e Ing. Geovanni Brito, revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “SISTEMA AUTOMATIZADO DE CORTE POR PLASMA PARA LA EMPRESA INVENIOS 3D”, presentado por el señor Oscar Jefferson Guzmán López de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Pilar Urrutia

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Julio Cuji

DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Geovanni Brito

DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación es dedicado a mis hijos Martín y Sofía que son mi mayor fuente de fortaleza para avanzar cada día, a mi esposa Carito por el amor, apoyo y confianza incondicional que me ha brindado para seguir adelante y culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Mami Cori y Papi Oscar, que, con su lucha, perseverancia y fortaleza me han demostrado ser unas personas admirables, inculcándome grandes valores personales y sobre todo ofreciéndome su amor incondicional siempre y cuando lo necesitaba.

A mis hermanos Maya, Chrys y Kathi, y mi sobrino Gabriel que, por medio de sus consejos, su experiencia, y su compañía, me han ayudado en momentos difíciles sin permitir que me rinda y no quedarme en medio del camino, dándome el empujón necesario para cumplir con el objetivo.

Oscar Guzmán

AGRADECIMIENTO

Agradecido de la vida y de la salud que Dios me brinda, a mi familia que a pesar de la distancia hemos sido unidos formando lazos de profundo amor.

A mis padres que me han ayudado en los estudios para formarme como un profesional, a mis hermanos y sobrinos demostrándome ser una gran familia unida, en las buenas y en las malas.

A mis abuelitos, a mis tíos, a mis primos y a mis amigos que de una manera u otra intervinieron con su ayuda o apoyo para llegar a concluir un ciclo de gran importancia para mí.

A la Universidad Técnica de Ambato acogiéndome en su prestigiosa institución y aún más a la FISEI, dichosa facultad generadora de grandes personas y excelentes profesionales.

A todo el personal docente el cual me ha guiado y ha impartido sus enseñanzas tanto en el ámbito profesional como personal.

A mi tutor Ing. Mario García por su colaboración en el proceso de culminación del proyecto investigativo.

Oscar Guzmán

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPITULO I	1
1.1. Tema de Investigación.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Delimitación.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo General:.....	4
1.5.2. Específicos:.....	4
CAPITULO II	5
2.1. Antecedentes Investigativos.....	5
2.2. Fundamentación Teórica.....	7
2.2.1. Fundamentos del corte por plasma.....	7
2.2.2. Estados del plasma.....	7
2.2.3. Factores del plasma.....	8
2.2.4. Tipos de corte por plasma.....	10
2.2.5. Automatización.....	11
2.2.6. Robótica.....	12

2.2.7.	Constitución física de los robots	12
2.2.8.	Articulaciones de robots.....	12
2.2.9.	Configuraciones más comunes de un robot	13
2.2.10.	Actuadores.....	15
2.2.11.	Sensores.....	16
2.2.12.	Cinemática.....	16
2.2.13.	Dinámica	17
2.2.14.	Control numérico computarizado.....	17
2.2.15.	Código G y M.....	17
2.2.16.	Raspberry PI.....	19
2.2.17.	Arduino	20
2.3.	Propuesta de solución.....	20
CAPITULO III.....		21
3.1.	Modalidad de la Investigación	21
3.2.	Recolección de Información	21
3.3.	Procesamiento y Análisis de Datos	21
3.4.	Desarrollo del Proyecto.....	22
CAPITULO IV		23
4.1.	Introducción	23
4.2.	Análisis de Factibilidad.....	23
4.2.1.	Factibilidad Técnica	23
4.2.2.	Factibilidad Institucional.....	23
4.2.3.	Factibilidad Bibliográfica.....	23
4.2.4.	Factibilidad Económica.....	24
4.3.	Análisis del sistema de corte por plasma	24
4.3.1.	Plasma	24
4.3.2.	Producción del plasma	25
4.3.3.	Principio de funcionamiento de la cortadora por plasma.....	25
4.3.4.	Componentes de una cortadora de plasma	26
4.3.5.	Especificaciones técnicas del equipo	27
4.3.6.	Antorcha.....	29

4.4.	Diseño de la estructura mecánica.....	30
4.4.1.	Requerimientos de la empresa	30
4.4.2.	Control numérico computarizado (CNC).....	31
4.4.3.	Principio de funcionamiento de una CNC	31
4.4.4.	Ventajas de ocupar un sistema con control numérico computarizado ...	32
4.4.5.	Dimensionamiento de la máquina.....	32
4.4.6.	Diseño de la mesa de corte.....	34
4.4.7.	Sistema de guía para los ejes.....	35
4.4.8.	Análisis y selección de la transmisión de los ejes.....	38
4.5.	Análisis y selección de hardware y software para el control y monitoreo del sistema.....	41
4.5.1.	Motores	41
4.5.2.	Motores Paso a Paso.....	45
4.5.3.	Drivers.....	50
4.5.4.	Finales de carrera	53
4.5.5.	Arduino	55
4.5.6.	Shield CNC Arduino	56
4.5.7.	Ordenador.....	58
4.5.8.	Firmware GRBL.....	59
4.5.9.	Software para generación de código G.	66
4.5.10.	Introducción al software de control bCNC.	69
4.6.	Implementación del sistema.....	70
4.6.1.	Sistema Mecánico	70
4.6.2.	Sistema de Control	71
4.6.3.	Sistema Electrónico.....	78
4.7.	Pruebas de funcionamiento	81
4.8.	Resultados	88
4.9.	Presupuesto	92
	CAPITULO V.....	95
	Conclusiones y recomendaciones	95
5.1.	Conclusiones	95

5.2. Recomendaciones.....	96
BIBLIOGRAFIA.....	98
ANEXOS	104
ANEXO A.....	105
ANEXO B.....	107
ANEXO C.....	108
ANEXO D.....	119
ANEXO E.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comandos Generales en código G. [27]	18
Tabla 2. Comandos generales en código M	18
Tabla 3. Especificaciones técnicas de la cortadora.	27
Tabla 4. Especificaciones Generales de la Antorcha.	29
Tabla 5. Tabla comparativa de transmisiones de ejes.	40
Tabla 6. Cuadro comparativo de motores.	45
Tabla 7. Cuadro de clasificación de los motores paso a paso.	48
Tabla 8. Especificaciones de motor paso a paso.	49
Tabla 9. Cuadro comparativo de drivers	51
Tabla 10. Cuadro comparativo de tarjetas de la plataforma Arduino.	55
Tabla 11. Cuadro comparativo entre CNC Shield	58
Tabla 12. Cuadro comparativo de los modelos de Raspberry Pi	58
Tabla 13. Comandos en GRBL	62
Tabla 14. Configuración de los parámetros de Grbl	64
Tabla 15. Parámetros de pruebas del sistema.....	86
Tabla 16. Tiempo de corte de forma manual y automatizada	87
Tabla 17. Desplazamiento mínimo y máximo de los ejes X,Y,Z.	89
Tabla 18. Porcentaje de tiempo de las pruebas	90
Tabla 19. Mediciones de corte de forma automatizada vs forma manual.....	91
Tabla 20. Presupuesto de la parte mecánica.....	92
Tabla 21. Presupuesto de la parte electrónica.	93
Tabla 22. Presupuesto equipos de corte plasma y compresor de aire.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Articulaciones. [15]	13
Figura 2. Configuraciones más comunes en robots. [16]	14
Figura 3. Placa Raspberry PI. [28]	19
Figura 4. Placa Arduino UNO. [29]	20
Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de corte por plasma.....	24
Figura 6. Descarga de alta frecuencia. [33].....	25
Figura 7. Formación de un arco de plasma [33].....	26
Figura 8. Corte de la pieza de trabajo. [33].....	26
Figura 9. Cortadora de Plasma BP WT-60. [35].....	27
Figura 10. Vista frontal de cortadora plasma.	28
Figura 11. Vista Trasera de cortadora plasma.....	28
Figura 12. Antorcha para corte de Plasma.	29
Figura 13. Cabezal de la antorcha y sus componentes.....	30
Figura 14. Diagrama de bloques del funcionamiento de una CNC.....	31
Figura 15. Diseño de estructura del sistema.....	34
Figura 16. Diseño de mesa de corte	35
Figura 17. Vista frontal de la guía en el eje Y.	35
Figura 18. Rueda corrediza con soporte exterior. [37].....	36
Figura 19. Vista frontal de la guía del eje X.	36
Figura 20. Rodamiento de tipo DIN. [38]	37
Figura 21. Sistema de guiado con varillas [39].....	37
Figura 22. Sistema de guías y acoples para desplazamiento.....	38
Figura 23. Transmisión por correa [41]	39
Figura 24. Tornillo de Potencia [42].....	39
Figura 25. Piñón – Cremallera [43].....	40
Figura 26. Diagrama de bloques de la conexión del sistema.	41
Figura 27. Motor DC. [44]	42
Figura 28. Servomotor [45].....	42
Figura 29. Motor Paso a Paso. [46].....	43
Figura 30. Esquema motor paso a paso unipolar de 6 cables. [45].....	44
Figura 31. Esquema motor paso a paso bipolar con 4 cables. [48].....	44

Figura 32. Principio de funcionamiento de un motor paso a paso de imán permanente. [49]	46
Figura 33. Principio de funcionamiento de un motor paso a paso de reluctancia variable. [49]	46
Figura 34. Rotor de un motor paso a paso hibrido. [49]	47
Figura 35. Principio de funcionamiento de un motor paso a paso hibrido. [49]	48
Figura 36. Circuito integrado de control A4988. [46]	50
Figura 37. Circuito integrado de control DVR8825. [47]	51
Figura 38. Driver DRV8825 y potenciómetro de regulación	53
Figura 39. Estructura Finales de Carrera [53]	54
Figura 40. Final de Carrera [54]	54
Figura 41. Pines de configuración con Arduino UNO	56
Figura 42. Tarjeta CNC Shield v2.0 [55]	57
Figura 43. Tarjeta CNC Shield v3.0	57
Figura 44. Entorno IDE de Arduino	60
Figura 45. Cargando la librería Grbl a IDE de Arduino.	61
Figura 46. Subida de Firmware Grbl a la tarjeta Arduino UNO	61
Figura 47. Monitor serie con mensaje de la versión de firmware Grbl	62
Figura 48. Configuraciones generales de Grbl	63
Figura 49. Entorno grafico de CorelDraw	67
Figura 50. Entorno Grafico de Software SheetCam	68
Figura 51. Configuración de la pieza de trabajo.	68
Figura 52. Visualización del archivo en el software SheetCam	69
Figura 53. Interfaz Gráfica software bCNC	70
Figura 54. Sistema Mecánico del sistema automatizado	71
Figura 55. Software bCNC pantalla principal	72
Figura 56. Software bCNC pantalla de control	73
Figura 57. Software bCNC pantalla de configuración de GRBL	73
Figura 58. Software bCNC pantalla de edición de archivos .gcode	74
Figura 59. Ingresando a configuración para IP estática	74
Figura 60. Asignación de IP estática a ordenador Raspberry PI	75
Figura 61. Dirección IP del ordenador Raspberry PI	76
Figura 62. Iniciar el servidor	76

Figura 63. Página web de control para la máquina de corte por plasma.....	77
Figura 64. Diagrama de conexión de los elementos electrónicos del sistema	78
Figura 65. Diagrama de conexión de los elementos electrónicos del sistema de forma física	79
Figura 66. Diagrama de flujo del sistema	80
Figura 67. Sistema implementado en la empresa Invenios 3D	81
Figura 68. Punto de inicio esquina superior derecha	82
Figura 69. Punto de inicio y final esquina superior izquierda.....	82
Figura 70. Punto de inicio esquina superior derecha	83
Figura 71. Punto final esquina inferior izquierda.....	83
Figura 72. Opción de la Antorcha en el software bCNC	84
Figura 73. Opción encender y apagar de la antorcha desde servidor.....	84
Figura 74. Software SheetCam con diseño de cuadrado de 50x50	85
Figura 75. Selección de herramienta de corte en el software SheetCam	85
Figura 76. Selección de operación de corte en el software SheetCam.....	86
Figura 77. Cortes realizados de forma automática y manual	88
Figura 78. Tiempo de corte manual vs automatizado	90

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo implementar un Sistema Automatizado para corte por plasma para la empresa Invenios 3D, dicho proyecto tiene como finalidad mejorar parámetros del mecanizado como la optimización del material, el perfeccionamiento de los cortes en figuras complejas, la precisión con la que se realiza el mecanizado en piezas de tamaño reducido, permitiendo la reducción de costos operativos y tiempo en los procesos de corte por plasma.

El proyecto de investigación está diseñado en base al sistema de control numérico computarizado (CNC), el cual está controlado por una tarjeta Arduino UNO y un módulo Arduino CNC Shield v3 que realiza el proceso de actuador, y este a su vez se conecta a una placa Raspberry PI3 que actúa como servidor en la cual se ha implementado una interfaz gráfica para el control y monitoreo del sistema.

Palabras Clave: Automatización, CNC, Plasma, Arduino, Raspberry PI, Grbl.

ABSTRACT

The present research project aims to implement an automated system for plasma cutting for the company Invenios 3D, this project aims to improve parameters of the model, the optimization of the material, the perfection of the cuts in the complex figures, the precision with which the machining is performed on parts of reduced size, reducing operating costs and time in plasma cutting processes.

The research project is designed based on the computerized numerical control (CNC) system, which is controlled by an Arduino UNO card and an Arduino CNC Shield v3 module that performs the activation process, and this in turn connects to a Raspberry PI3 board that acts as a server in which a graphical interface for the control and monitoring of the system has been implemented.

Keywords: Automation, CNC, Plasma, Arduino, Raspberry PI, Grbl.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los avances tecnológicos en los procesos industriales o artesanales son de gran ayuda en el rendimiento y optimización para la fabricación y producción de diferentes artículos, por lo que los métodos tradicionales que implica la mano de obra humana se van minimizando dando paso a máquinas y herramientas automatizadas que permiten dar solución a procesos repetitivos con el fin de obtener mayor producción en un menor tiempo. En el presente proyecto se realiza la automatización del sistema de corte por plasma para la empresa Invenios 3D, realizando un control numérico computarizado (CNC) en el cual interviene el control y monitoreo del mecanizado de piezas, por medio de software y hardware libre. El sistema funciona mediante un servidor en el cual se encuentra instalado el software necesario para el control de los motores que permiten el movimiento de los ejes XYZ y de sensores que permiten determinar la posición en la que se encuentra la herramienta de corte.

El trabajo investigativo se ejecutó en cinco capítulos:

En el primer capítulo se describe el problema que presenta la empresa, así como también los objetivos que buscaran dar solución a dicha problemática, el periodo de duración y el lugar donde se realizó el proyecto.

En el segundo capítulo se exponen antecedentes investigativos sobre el tema desarrollado, la fundamentación teórica que se utilizó como guía para el proceso investigativo y concluye con la propuesta de solución a la problemática.

En el tercer capítulo, se expone la modalidad de investigación, tipos de investigación realizadas y los pasos necesarios para la realización del sistema propuesto.

En el cuarto capítulo se desarrolla la propuesta de solución del problema planteado, los requerimientos del sistema, diseño y construcción de la máquina, pruebas de funcionamiento, resultado y se incluye el presupuesto del sistema.

En el quinto capítulo se establecen las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema de Investigación

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CORTE POR PLASMA PARA LA EMPRESA INVENIOS 3D.

1.2. Planteamiento del Problema

En talleres, empresas o industrias dedicadas a la metalmecánica existe la necesidad de maximizar el aprovechamiento de las láminas de acero, debido al alto coste que estas representan, sea el caso para el mecanizado de piezas con geometrías complejas o piezas de tamaño reducido, con la finalidad de alcanzar un buen acabado de corte y contar con un proceso más eficiente. Los métodos de mecanizado de metal han adquirido una notable evolución hasta llegar a lo que se conoce como máquinas de control numérico computarizado CNC, los cuales son programados de forma que logren realizar varias operaciones de corte mediante la ejecución de programas, los cuales fueron llamados centros de mecanizados.

Los procesos de mecanizados están siendo sometidos a técnicas como las fuerzas de corte y materiales para herramienta que permitan mejorar la productividad del proceso sin dañar el acabado de las superficies mecanizadas, determinar la influencia de las fuerzas de corte en las vibraciones de las máquinas y establecer la relación existente entre los mecanismos de desgaste de la herramienta y las condiciones de corte, así como diseñar herramientas que permitan reducir las tolerancias dimensionales y mejorar las condiciones de mecanizado en materiales de elevadas propiedades mecánicas y materiales compuestos. [1] [2]

En la actualidad los métodos que se emplean para el corte del metal se realizan con máquinas de oxicorte o plasma. Estas máquinas por lo general son de uso manual, por lo que ocasiona una gran dependencia entre hombre/máquina al momento de obtener un acabado de gran calidad, incrementando los ciclos de fabricación y a su vez teniendo una menor productividad. Además, los costos son demasiados elevados si se desea adquirir o importar un sistema de corte por plasma con control numérico computarizado CNC, ya sea por su construcción o tecnología.

Invenios 3D es una empresa dirigida por el Ingeniero Chrystiam Guzmán Gerente General, RUC 0201452133001, la cual está ubicada en la ciudad de Ambato en la calle José Rudecindo Ingavelez y la Avenida Julio Cesar Cañar, la cual brinda un servicio de corte por plasma, en donde se ha visto la necesidad de automatizar la técnica de mecanizado del metal debido a presentar varios inconvenientes principalmente la manipulación del equipo, ya que se lo realiza de forma manual, por lo que ha ocasionado pérdidas de material, cortes demasiados rápidos o demasiados lentos, perforaciones inconsistentes, aumentando así el tiempo de producción, y en algunos casos, cuando el corte realizado es muy defectuoso, la pieza es desecha, sin mencionar el riesgo del personal que opera la máquina. Además, por trabajar con este tipo de técnica en donde se genera una emisión de luz de muy alta intensidad, lo que hace necesario el uso de una máscara de protección, lo que dificulta el proceso y hace que la precisión del corte dependa en gran medida de la pericia y experiencia del operador.

1.3. Delimitación

De contenidos:

- **Área Académica:** Física y Electrónica
- **Líneas de Investigación:** Sistemas de Control
- **Sublínea de Investigación:** Electrónica de Potencia

Delimitación Espacial: El presente proyecto se realizó en la empresa Invenios 3D ubicada en la provincia de Tungurahua, en el cantón Ambato, en el barrio Solís, dirección José Rudecindo Ingavelez y Julio Cesar Cañar.

Delimitación Temporal: La presente investigación se desarrolló en el periodo octubre 2018 - febrero 2019 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4. Justificación

Los avances tecnológicos en la actualidad son de gran ayuda en todo lo que respecta a procesos industriales o artesanales con un alto impacto de innovación y automatización, la gran mayoría de trabajos son repetitivos y por lo tanto es necesario tener una mayor precisión y mejor acabado en el producto final, debido a esto la industria electrónica y mecánica se ha unido para así elaborar robots de servicio desempeñándose en varias aéreas ya sean militares, de salud, domésticos, industriales, etc.

El diseño del sistema automatizado para corte por plasma permite el mecanizado de una amplia gama de metales conductores de forma rápida y sencilla, con la finalidad de mejorar procesos iterativos y que requieran de gran exactitud en donde las técnicas manuales u operados por el hombre son de gran dificultad para realizarlos, con un alto nivel de optimización en la producción.

Este proyecto está orientado para la empresa Invenios 3D, dedicada a la elaboración, fabricación y construcción de robots comerciales, estructuras robóticas, juguetes didácticos y afines. En la cual ha surgido la necesidad de automatizar el proceso de mecanizado de piezas, que actualmente está vigente, por un sistema elaborado con tecnología de bajo coste y empleando materiales disponibles en el mercado local con la finalidad de reducir el precio tanto de la parte de hardware como la parte de software, lo cual beneficiará a la empresa en la parte de producción y fabricación de piezas que pueden ser usados en el área mecánica, electrónica y mecatrónica como: la construcción de moldes o matrices, el troquelado, elementos o piezas de máquinas industriales, comerciales o de servicios, brazos robóticos, exoesqueletos, robots industriales etc.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Implementar un sistema automatizado para corte por plasma para la empresa Invenios 3D.

1.5.2. Específicos:

- Analizar las características de los sistemas de corte por plasma.
- Diseñar una estructura para el montaje de la cortadora por plasma.
- Implementar un sistema de control y monitoreo para manipulación automática de la máquina de corte por plasma.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

Al realizar una investigación bibliográfica en diferentes repositorios digitales sobre sistemas de control numérico computarizado CNC se hallaron los siguientes resultados:

Maya Alejandra Sntaxi Álava implementó, en la ciudad de Quito-Ecuador en el año 2017, el “Diseño y construcción de una máquina CNC cortadora por plasma para planchas de acero de hasta 10mm de espesor”, el cual consiste en un sistema de corte por plasma basándose en el control numérico computarizado, controlando así dos motores Nema 23 para los ejes Y y Z y dos Nema 34 para el eje X. El control de la máquina lo realizo en una cabina de control independiente en la parte inferior de la misma se encuentran todas las conexiones y elementos electrónicos y en la parte superior el HMI. El diseño de la máquina y los cálculos matemáticos que realizó le permitieron determinar un área de trabajo para una plancha entera estándar de 1220x2440mm con un espesor máximo de hasta 50mm. [3]

Sergio Allauca en su proyecto de investigación para el “Diseño e implementación de un sistema automatizado por control numérico computarizado para cortes por plasma en los procesos de manufactura de la empresa CEM INGENIEROS E.I.R.L.” elaborado en el año 2017 en la ciudad de Lima-Perú, propone diseñar y construir una máquina para cortes por plasma utilizando los ejes X e Y para trayectorias en 2D, también cuenta con un eje Z para mantener la distancia adecuada entre la punta de la antorcha y el metal. Consta de una interfaz por computadora donde se realiza el ingreso de parámetros que controlan la posición de los ejes y la velocidad de los motores paso

a paso. El procesador cuenta con un software CAD/CAM que se encarga de realizar el diseño de piezas y posterior mecanizado a través de un lenguaje de programación llamado código G. [4]

Kevin Daniel Mirallas Secaira y Pedro Jonathan Portes Rojas comentan que su tema de “Diseño de una máquina cortadora por plasma CNC”, realizado en el año 2015 en la ciudad de Guayaquil-Ecuador, se dio debido a que nivel nacional las industrias que se dedican a la producción de este tipo de máquinas está en desarrollo, por lo que elaboraron el diseño de una máquina CNC que se use como herramienta de corte plasma para ser construida localmente con facilidad de mantenimiento, que sea segura, económicamente accesible para nuestro país y que se la pueda construir empleando materiales disponibles en el mercado local. El software que ocuparon para corte fue versión estudiantil Mach 3 Standard, el cual sirve para el control numérico e interacción real entre lo programado y ejecutado incorpora una herramienta adicional (LazyCAM) para generar el código G, mantiene compatibilidad con los software CAD que generen un archivo con extensión DXF. [5]

En la ciudad de Latacunga-Ecuador en el año 2017, Sandra Molina y Carlos Terán en su trabajo de “Diseño y construcción de una cortadora por plasma de tres ejes con una cama de agua mediante control numérico computarizado para el laboratorio CNC”, han determinado parámetros de corte para planchas de acero al carbono de dimensiones 1220mmx1220mm con espesores entre 1,9 a 9,5mm. Para el sistema de control se utilizaron un controlador de 3 ejes ADTECH HC-4500 y un THC Microstep SH-HC30. Al finalizar la implementación realizaron pruebas utilizando la norma ISO 10360-2 2009 para determinar la precisión y repetitividad de la máquina. Además hicieron pruebas de corte en piezas de dimensiones mínimas 10mm para cuadrados y 15 mm para círculos y para piezas grandes de 1150mm. [6]

En el año 2015 en la ciudad de San Salvador-El Salvador, René Artiaga, Gerardo Bolaños, Abner Martínez y Erick Reyes realizaron el trabajo de “Diseño y construcción de un sistema para corte por plasma, usando técnicas de control numérico computarizado”, en el cual mencionan que el mecanismo desarrollado se basa en un sistema cartesiano, que tenga la movilidad en tres direcciones conocidas como ejes

“X”, “Y” y “Z”. La comunicación entre la máquina y un ordenador se la realizara a través del software Mach 3, el cual permite tener una interacción más adaptable permitiendo así ser más práctico para el usuario realizando las operación de corte de forma automática y precisa, con movimientos que resultan más efectivos que al realizarlo de forma manual y teniendo una gran diversidad en formas geométricas con complejidad alta. [7]

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Fundamentos del corte por plasma

Plasma es un estado de la materia, que se obtiene al calentar, a altas temperaturas una sustancia gaseosa como el hidrogeno o deuterio. A miles de grados Celsius, los electrones de los átomos del gas, en estado neutral, son excitados y separados del núcleo atómico. Los electrones, cargas elementales negativas, y los núcleos ionizados, ahora con carga positiva, se mezclan en una “sopa”, cuya carga total sigue siendo neutra, pues tiene en promedio la misma cantidad de cargas negativas y positivas, pero tiene a estas cargas eléctricas libres en movimiento, por lo que desde fuera se puede ver que se comporta como un fluido neutral, de ahí el sobre-nombre, “sopa”. No se toma en cuenta como plasma a los gases débilmente ionizados, como las llamas de las velas. [7]

2.2.2. Estados del plasma

El estado plasmático se lo puede subdividir en grupos como [7] [8]:

- Plasma común: las capas de electrones de los átomos son parcialmente deterioradas. Los electrones libres son responsables de las características plasmáticas de la sustancia en cuestión.
- Plasma termonuclear: Las capas electrónicas de los átomos no existen, la sustancia es una mezcla de núcleos “pelados” y electrones libres. En este estado se encuentran el plasma en los núcleos de las estrellas, donde se da lugar la síntesis TN.
- Plasma de nucleones: Debido a muy altas temperaturas o presiones, los mismos núcleos atómicos son despedazados. La materia es una mezcla de electrones, protones y neutrones. Los plasmas nucleónicos se manifestaron a los 10^{-5}

segundos después del comienzo del Universo, donde los quarks crearon los primeros protones y neutrones. Encontramos también este tipo de plasma en las capas exteriores de una supernova explotando, donde su comienzo desarrolla una onda de choque de gas presionado. En esta capa por un corto tiempo se dan lugar disturbios en las reacciones termonucleares, que dan lugar a elementos pesados.

- Plasma de Quarks-gluones: en altas energías los nucleones mismos se desmenuzan en sus constituyentes: los quarks y los gluones. En ese estado se encontraba la materia quizá hasta el primer décimo de microsegundo después del comienzo del Universo y artificialmente se logró reproducir este estado de la materia en el CERN en el año 2000.

2.2.3. Factores del plasma

Existen plasmas en contextos muy diferentes y con características muy diversas, la primera tarea de la física del plasma es definir apropiadamente los parámetros que deciden el comportamiento de un plasma. El conocimiento de estos parámetros permite al Investigador escoger la descripción más apropiada para su sistema. Los principales parámetros son los siguientes:

Neutralidad y especies presentes: generalmente un plasma está formado por igual número de cargas positivas y negativas, lo que anula la carga total del sistema. En tal caso se habla de un plasma neutro o casi-neutro. También existen plasmas no neutros, como el flujo de electrones dentro de un acelerador de partículas, pero requieren algún tipo de confinamiento externo para vencer las fuerzas de repulsión electrostática. Los plasmas más comunes son los formados por electrones e iones. En general puede haber varias especies de iones dentro del plasma, como moléculas ionizadas (cationes) y otras que han capturado un electrón y portan una carga negativa (aniones). [8]

Longitudes: la longitud de Debye o de apantallamiento electromagnético (λ_D) determina el rango típico de las interacciones electrostáticas de una determinada especie. Supongamos una cierta carga positiva presente en un plasma de electrones e iones. Los electrones serán atraídos y formarán una capa de carga negativa alrededor de ella. A partir de cierta distancia la carga habrá quedado neutralizada y no tendrá efectos apreciables. La longitud de Debye es una estimación de esta distancia. [8] [9]

Ecuación uno (λ_D). En un gas de electrones de densidad n_e y temperatura T se tiene:

$$\lambda_D = \left(\frac{kT}{4\pi n_e^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Dónde:

λ_D : Longitud de Debye. [m]

n_e : Densidad de electrones en un gas. [m^{-3}]

T: Temperatura. [K]

k : Constante de Boltzmann. [J/K]

La frecuencia de plasma (w_{pe}): describe sus tiempos característicos. Al suponer que en un plasma en equilibrio y sin densidades de carga se introduce un pequeño desplazamiento de todos los electrones en una dirección. Éstos sentirán la atracción de los iones en la dirección opuesta, se moverán hacia ella y comenzarán a oscilar en torno a la posición original de equilibrio. La frecuencia de tal oscilación es lo que se denomina frecuencia de plasma. [8] [9]. La frecuencia de plasma de los electrones es expresada por la Ecuación dos:

$$w_{pe} = \left(\frac{4\pi n_e e^2}{m_e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dónde:

W_{pe} : Frecuencia de plasma. [Hz]

m_e : Masa del electrón y e su carga. [kg/C]

n_e : Densidad de electrones en un gas. [m^3]

Temperatura-velocidad térmica: Por lo general las partículas de una determinada especie localizadas en un punto dado no tienen igual velocidad: presentan por el contrario una distribución que en el equilibrio térmico es descrita por la distribución de Maxwell-Boltzmann. A mayor temperatura, mayor será la dispersión de velocidades (más ancha será la curva que la representa). Una medida de tal dispersión es la velocidad cuadrática media que, en el equilibrio, se denomina también velocidad térmica. Es frecuente, aunque formalmente incorrecto, hablar también de velocidad térmica y de temperatura en plasmas lejos del equilibrio termodinámico. En tal caso, se menciona la temperatura que correspondería a una velocidad cuadrática media determinada. [8] [9]

En la Ecuación tres se determina la velocidad térmica de los electrones.

$$V_{Te} = \left(\frac{kT_e}{m_e}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Dónde:

V_{Te} : Velocidad térmica de los electrones [m/s]

k : Constante de Boltzmann. [J/K]

m_e : Masa del electrón respecto a su carga. [kg/C]

T_e : Temperatura de los electrones. [K]

El parámetro de plasma (Γ): indica el número medio de partículas contenidas en una esfera cuyo radio es la longitud de Debye (esfera de Debye). La definición de plasma, según la cual la interacción electromagnética de una partícula con la multitud de partículas distantes domina sobre la interacción con los pocos vecinos próximos, puede escribirse en términos del parámetro de plasma como $\Gamma \gg 1$. Esto es: hay un gran número de partículas contenidas en una esfera de Debye. Es común referirse a esta desigualdad como "condición de plasma". Algunos autores adoptan una definición inversa del parámetro de plasma ($y = 1 / \Gamma$), con lo que la condición de plasma resulta ser $y \ll 1$. [8] [9] El parámetro de plasma de los electrones se define en la ecuación cuatro:

$$\Gamma = \left(\frac{4\pi}{3}\right) n_e \lambda_D^3 \quad (4)$$

Dónde:

Γ : Parámetro de plasma de los electrones. [m^6]

n_e : Densidad de electrones en un gas. [m^3]

λ_D : Longitud de Debye. [m]

2.2.4. Tipos de corte por plasma

Los principales tipos de corte por plasma existentes son los siguientes [10]:

- Corte por plasma de aire: Gracias al oxígeno del aire, se aumenta la velocidad de corte en un 25% en relación con el corte tradicional, el seco. Aun así, se requiere de una superficie de corte muy oxidada.
- Corte por inyección de agua: Este proceso implica inyectar radialmente agua en la boquilla. El resultado es un corte mucho más rápido y bueno.

- Corte con inyección de oxígeno: Esta técnica implica la utilización de gas de corte y agua por la boquilla. Se utiliza para solucionar los problemas del deterioro de los electrodos o de la oxidación del metal.
- Corte con doble flujo: Es el sistema convencional por el que se utiliza gas-plasma nitrógeno.

2.2.5. Automatización

La palabra automatización, como su nombre indica, hace referencia a sistemas automáticos, o guiados por ellos mismos. Estos sistemas nacen con el propósito de poder sustituir los trabajos realizados por humanos o animales, bien por ser trabajos que requieran grandes fuerzas, sean peligrosos, sean repetitivos, etc. Aunque parezca que este tema es nuevo, en la antigüedad ya se habían construido diversos automatismos con distinta finalidad. Desde los pequeños seres mecánicos creados por los egipcios en el 2000aC, hasta los complejos mecanismos creados por Herón en la antigua Grecia, en el 85dC. [11]

Otro de los grandes avances en la automatización industrial fue la revolución industrial, más concretamente la construcción de la máquina de vapor y la construcción de las tarjetas perforadas. La primera conseguía realizar trabajos donde se necesitaban grandes fuerzas, por ejemplo, para el transporte de grandes cantidades de materiales. [11]

La segunda, fue un invento de Joseph Marie Jacquard que revolucionó la industria textil mediante estas pequeñas tarjetas perforadas, que realizaban el control de los grandes telares. Esto se utilizará más adelante para la creación de los primeros ordenadores. En la actualidad se puede decir que se han reemplazado por los PLCs, en la industria. El principal problema surge en que estos sistemas son muy poco versátiles, con lo que, serán utilizados sobretodo en trabajos repetitivos, dónde no haga falta una modificación muy grande para obtener distintos formatos en la producción. Con todo esto, nace una nueva máquina industrial, llamada robot, que sí que permite cierta versatilidad. [11] [12]

2.2.6. Robótica

En el siglo XVIII se inició construyendo máquinas autómatas simples, imitando actividades cotidianas con referencia a la música, escritura, juegos de mesa, etc. En el año 1921, se origina el término robot en una obra de teatro de K. Capek. Pero no será hasta el año 1959 cuando George Devol, junto a Joseph F. Engelberger, desarrollan el primer robot. En 1961, la empresa Unimation (fundada por Devol y Engelberger) instala en GM el primer robot industrial, que se trata de un robot de 1800Kg, 65.000\$, que manejaba piezas de metal fundido. A partir de aquí, las distintas empresas, sobretodo del sector del automóvil, han ido instalando los distintos tipos que han ido surgiendo. Esto se debe a que es un sector de grandes producciones repetitivas, donde se realizan tareas que pueden resultar peligrosas y repetitivas para el ser humano. [12]

Manipulador: máquina en la cual el mecanismo generalmente consiste en una serie de segmentos, articulados o deslizantes uno con respecto al otro, con el propósito de agarrar y / o mover objetos (piezas o herramientas) generalmente en varios grados de libertad. [13]

Según la ISO 8373, “Un robot es un manipulador reprogramable, multifuncional, controlado automáticamente, que puede estar fijo en un sitio o moverse, y que está diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, por medio de movimientos variables programados para la realización de diversas tareas o trabajos” [13]

2.2.7. Constitución física de los robots

Gran parte de los robots desarrollados son esencia analogías funcionales de la fisiología humana debe resaltarse que en los robots las articulaciones o juntas que lo componen así como el tamaño de estas, la forma en que están unidas juegan un papel importante en el tipo de funciones a desarrollar, así como en la flexibilidad, calidad y precisión de los movimientos del manipulador. [14]

2.2.8. Articulaciones de robots

Las articulaciones de los robots al igual que las del cuerpo humano no todas tienen la misma forma ni el mismo rango de acción como se puede observar en la figura 1.

Según la teoría el movimiento puede ser descrito a partir de dos conceptos la posición y la orientación, esto da lugar por lo tanto a dos tipos de articulación para describir el movimiento, las articulaciones de traslación y las de rotación, las primeras ubican el movimiento en el espacio por coordenadas cartesianas lineales y las segundas por medio de ángulos [15] [16].

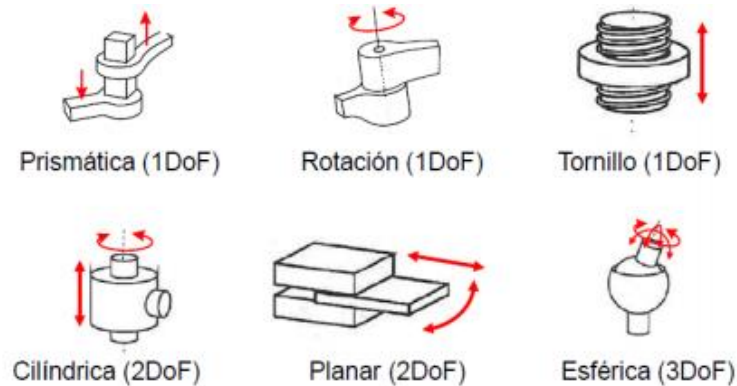


Figura 1. Tipos de Articulaciones. [15]

Entre los principales tipos de articulaciones robóticas se tiene [15] [16]:

- Articulación prismática: permite el desplazamiento de una barra sobre la otra solamente en una dirección, impidiendo también cualquier giro entre ellas.
- Articulación de rotación: permite el giro entre las dos barras en un eje.
- Articulación de tornillo: similar a un eje roscado con una tuerca, transforma el movimiento circular de la rosca hembra en movimiento lineal del eje macho. Estas tres tienen, por tanto, solamente un eje de libertad.
- Articulación cilíndrica: permite el desplazamiento en un eje y la rotación sobre este, como una combinación de una prismática con una de rotación, por lo cual da lugar a dos grados de libertad.
- Articulación planar: permite el desplazamiento en una, o dos direcciones, o desplazamiento y giro.
- Articulación esférica: permite el giro en tres ejes distintos, y por tanto tiene tres grados de libertad.

2.2.9. Configuraciones más comunes de un robot

El empleo de diferentes combinaciones de articulaciones, da lugar a diferentes configuraciones, con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción

del robot como en su aplicación [16], las configuraciones más comunes en robots se las puede observar en la figura 2.

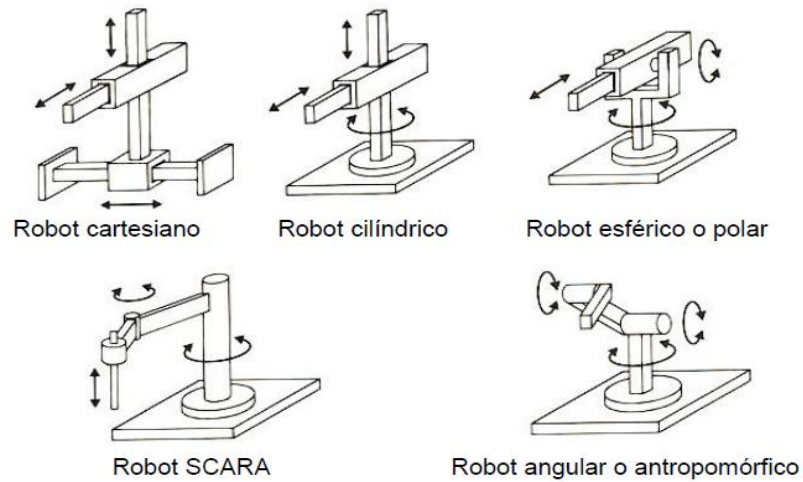


Figura 2. Configuraciones más comunes en robots. [16]

Las configuraciones más comunes en robots se las define de la siguiente manera [16]:

- Robot cartesiano: está formado por tres articulaciones de tipo prismático con ejes ortogonales entre sí. El robot cartesiano y el robot cilíndrico presentan volúmenes de trabajo regulares. El robot cartesiano genera una figura cúbica.
- Robot cilíndrico: una articulación rotacional y dos prismáticas. La primera con eje paralelo a la segunda. El robot de configuración cilíndrica presenta un volumen de trabajo parecido a un cilindro.
- Robot esférico: consta de dos articulaciones rotacionales ortogonales entre sí y una prismática con eje ortogonal a las dos primeras. Los robots que poseen una configuración polar, los de brazo articulado y los modelos SCARA presentan un volumen de trabajo irregular.
- Robot SCARA: denominado de alta precisión y velocidad está compuesto por dos articulaciones rotacionales y una prismática con ejes paralelos. Tiene mayor facilidad para trayectorias complejas con una alta maniobrabilidad y accesibilidad a zonas con obstáculos.
- Robot angular: posee tres articulaciones rotacionales, de las cuales las dos últimas son de ejes paralelos, es decir, la posición y orientación del efector final es controlada por medio del desplazamiento de seis articulaciones prismáticas conectadas a la base del robot por medio de una junta universal, y al efector final por medio de otra articulación esférica.

2.2.10. Actuadores

El sistema de actuación es el encargado de transformar las señales del controlador en movimiento para las articulaciones, debido a su importancia en la selección deben considerarse factores como: el tamaño total del manipulador, el marco del lugar donde realizara sus funciones y las características de estas, así como el peso de las cargas a manejar y la velocidad con la que se necesita trabajar. [16]

Entre los sistemas de actuación más utilizados tenemos los siguientes [16] [17]:

- a) Neumático: estos son los indicados por su sencillez y costo si se desea cargar o tomar una pieza, esta clase de sistemas puede operar con finales de carrera en cada eje, como principal ventaja radica en los sistemas suplementarios de comprensión de aire que se necesitan pues suelen ser muy económicos y fácil de adaptar a cualquier ambiente.
 - b) Hidráulico: los robots hidráulicos son considerados como uno de los más potentes, las cargas que alcanza a levantar son de las más elevadas y desde diferente punto tanto desde el centro de la máquina como desde el efector final, sin embargo, el costo de este sistema es de los más altos debido a que se necesitan entre otras cosas una bomba de alta presión, una reserva de fluido hidráulico para grandes presiones y un sistema completo control para el paso del fluido.
 - c) Eléctrico: el control es más eficiente en los sistemas de alimentación o de poder eléctrico convirtiéndose así en una de las mejores formas de controlar el movimiento de un robot. Dependiendo de la forma en que se administra o controla la corriente en los actuadores de los robots eléctricos suelen dividirse en: Motores de Corriente Directa y Motores Paso a Paso.
- Los motores de corriente continua se caracterizan porque su velocidad puede ser controlada con el flujo de corriente eléctrica que es enviada a sus terminales. [18]
 - Los motores paso a paso tienen una gran precisión que radica en que para poder moverse deben ser enviados una serie de pequeños pulsos eléctricos que hacen girar el rotor del motor ciertos grados sobre un disco plano haciendo posible incluso saber la posición exacta en la que este se encuentre. [19]

2.2.11. Sensores

Un transductor es, en general, un dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otro. Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (químicas), cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un transductor. En robótica móvil un sensor utiliza un transductor que capta información del entorno para ser utilizada por el robot. En general, la estructura de un sensor completo se compone de lo siguiente: [20]

- Controlador del transductor. Si existe, es el elemento interfaz entre el usuario del sensor y el transductor. Por ejemplo, hay circuitos controladores que indican cuándo y cómo se debe hacer una medida, etc...
- Transductor. Convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica (señal).
- Acondicionamiento de la señal. Si existe, realiza la función de modificar la señal entregada por el transductor para obtener una señal adecuada (amplificación, linealización, etc.). Con el avance de la electrónica digital, cada vez los circuitos acondicionadores son más sencillos. Por otro lado, un actuador utiliza un transductor que a partir de una señal eléctrica es capaz de modificar el entorno.

2.2.12. Cinemática

La cinemática puede ser definida como el estudio del movimiento tanto de forma estática como a través del tiempo sin tener en cuenta las fuerzas que lo generan. [21]

Los robots clásicos presentan una arquitectura antropomórfica serial, semejante al brazo humano. Consiste en una serie de barras rígidas unidas entre sí a través de articulaciones de un grado de libertad del tipo rotacional o prismática. En general cada articulación logra su movimiento a través de un accionamiento de potencia e incluye otros dispositivos como reductores de velocidad, frenos y sensores de posición o velocidad. Para definir las relaciones cinemáticas de un robot no se suelen considerar los aspectos dinámicos, más bien cuando se quiere diseñar un robot ya que existe una inevitable relación causa-efecto entre la cinemática y la dinámica. Las arquitecturas de los robots clásicos presentan una serie de propiedades dinámicas y estructurales caracterizadas por una rigidez estructural, repetitividad y elevado peso propio. El

elevado peso propio de los robots clásicos limita la capacidad carga útil y las velocidades de trabajo. [22] [23]

2.2.13. Dinámica

La dinámica se encarga de estudiar la relación de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina. La obtención del modelo dinámico de un mecanismo cualquiera se basa fundamentalmente en el equilibrio de fuerzas planteado en la segunda ley de Newton, además de su equivalente en rotación, llamada ley de Euler. Existen dos planteamientos para la dinámica de los robots: [24]

- Modelo dinámico directo: expresa la evolución temporal de las coordenadas articulares del robot en función de las fuerzas y pares que intervienen.
- Modelo dinámico inverso: expresa las fuerzas y pares que intervienen en función de la evolución de las coordenadas articulares y sus derivadas.

2.2.14. Control numérico computarizado

El control numérico computarizado también llamado CNC, se puede definir como un dispositivo de automatización de una máquina que mediante una serie de instrucciones codificadas controla su funcionamiento. [25] Una máquina CNC básicamente es un interpolador que genera trayectoria y descompone a esta en tantos ejes como disponga la aplicaciones donde se incorpora. [26]

2.2.15. Código G y M

➤ El código G, es un lenguaje de programación utilizado en las máquinas CNC, para llegar a controlar y establecer el desplazamiento sobre la superficie en la cual se ejecuta el trazado. En el año 1980, se dio el nombre de RS274D por la EIA Electronic Industries Association y se estandarizó en ISO 6983. Se caracteriza por iniciar con la letra “G”, una de varias finalidades importantes es indicar a la máquina que operación debe realizar, es decir, movimientos rápidos, avances, avances radiales, pausas, ciclos, etc. Tiene una gran facilidad de modificación debido que el código generado está en formato de texto y se logra editar con cualquier editor de texto. [27]

Tabla 1. Comandos Generales en código G. [27]

Comando	Descripción
G00	Interpolación Lineal Rápida.
G01	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro F.
G02	Movimiento Circular en el sentido horario Feedrate.
G03	Movimiento Circular en el sentido anti-horario Feedrate.
G04	Es una demora o una pausa con un tiempo específico.
G17	Selección del Plano X-Y
G18	Selección del Plano X-Z
G19	Selección del Plano Y-Z
G40	Compensación anulada, o al centro de la línea de desplazamiento.
G41	Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento.
G42	Compensación a la Derecha de la línea de desplazamiento.
G70	Unidad de Datos expresados en Pulgadas.
G71	Unidad de Datos expresados en Milímetros.
G90	Desplazamiento en Modo Absoluto.
G91	Desplazamiento en Modo Incremental o Relativo.

➤ El código M, es conocido por indicar funciones misceláneas enfocándose principalmente al maquinado de piezas, es decir a la activación, desactivación y cambio de diferentes herramientas. El código M y el código G, en general son instrucciones que permiten operar y manipular el sistema de una CNC para determinado trabajo.

Tabla 2. Comandos generales en código M

Comandos	Descripción
M00	Paro del Programa
M01	Parada opcional
M02	Reset del programa
M03	Hacer girar el husillo en sentido horario
M04	Hacer girar el husillo en sentido antihorario
M05	Frenar el husillo
M06	Cambiar de herramienta

M08	Abrir el paso del refrigerante
M09	Cerrar el paso de los refrigerantes
M10	Abrir presa de trabajo
M11	Cerrar presa de trabajo
M13	Hacer girar el husillo en sentido horario y abrir el paso de refrigerante
M14	Hacer girar el husillo en sentido antihorario y abrir el paso de refrigerante
M30	Finalizar programa y poner el puntero de ejecución en su inicio
M38	Abrir la guarda
M39	Cerrar la guarda
M48	Inhabilitar Spindle y Feed override (máquina exclusivamente con las velocidades programadas)
M49	Cancelar M48
M98	Llamada a subprograma
M99	Retorno de subprograma

Fuente: Investigador

2.2.16. Raspberry PI

Raspberry Pi fue desarrollado en Reino Unido por la fundación Raspberry Pi, formada en 2008 por un grupo de técnicos y académicos como Eben Upton, Rob Mulins, Jack Lang, Alan Mycroft, Pete Lomas, y David Braben, esta tarjeta incorpora funciones de electrónica como pines GPIO (General Purpose Input/Output), y de comunicación como UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), y SPI (Serial Peripheral Interface), I²C (Inter-Integrated Circuit). [28] En la figura 3 se observa la placa Raspberry PI y los diferentes puertos por los que está compuesta.



Figura 3. Placa Raspberry PI. [28]

2.2.17. Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto basada en hardware y software libre y fácil de usar, la cual está conformada por un microcontrolador. Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). [29] [30] En la figura 4 se puede visualizar la placa de Arduino UNO.

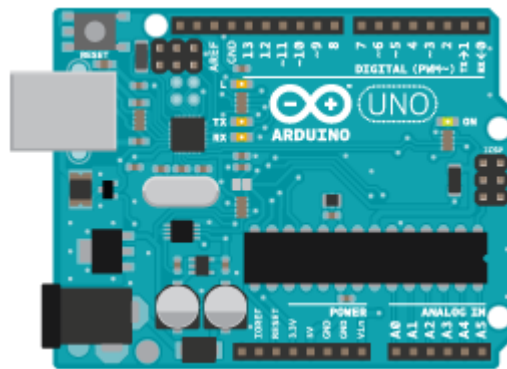


Figura 4. Placa Arduino UNO. [29]

2.3. Propuesta de solución

La implementación del sistema automatizado de corte por plasma para la empresa Invenios3D, busca obtener la optimización en el mecanizado de las piezas mejorando parámetros como la eficiencia, el tiempo, la precisión y exactitud en los cortes, además de brindar seguridad para el operador debido a que ya no tiene contacto directo con las herramientas de corte.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Modalidad de la Investigación

En el presente trabajo investigativo es de modalidad aplicada, y se desarrolló mediante:

- Investigación aplicada, la cual consistió en implementar los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones para el sistema automatizado de corte por plasma.
- Investigación Bibliográfica, se recopiló información de repositorios públicos y privados sobre el tema de estudio propuesto, además de la información que se encontró en apuntes, libros o textos del Investigador.
- Investigación de campo, el presente proyecto se realizó en la empresa Invenios3D realizando un estudio y recolección de datos de los operarios del sistema.
- Investigación Experimental, el proyecto se elaboró con alta precisión usando el sistema propuesto.

3.2. Recolección de Información

La información se recolectó de fuentes bibliográficas obtenidas en libros, tesis, publicaciones, artículos, revistas de investigación previamente halladas en el Internet, y además de la información experimental.

3.3. Procesamiento y Análisis de Datos

Mediante las observaciones realizadas en la empresa Invenios 3D, se procedió al estudio del mismo para el análisis de la automatización del sistema de corte por plasma que actualmente emplean en la empresa, que se dedica a la producción y construcción de diferentes piezas metálicas, robots educativos o comerciales, estructuras metálicas, estructuras robóticas, etc. Estableciendo así procesos más versátiles, factibles y

derivando así a la optimizando de recursos humanos como de tiempo para el acabado de los productos o piezas metálicas.

3.4. Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del proyecto se realizó las siguientes actividades:

- Estudio de los principios fundamentales del plasma.
- Determinación de las características de los sistemas de corte por plasma.
- Estudio comparativo de los diferentes tipos de corte por plasma.
- Investigación sobre la máquina de corte por plasma existente en la empresa.
- Análisis de las características de los sistemas con tecnología CNC.
- Análisis cinemático y dinámico para el sistema.
- Diseño de la estructura metálica del sistema de corte por plasma.
- Diseño de soportes, barras de guía, carros y porta pistola.
- Estudio comparativo de las características de los dispositivos electromecánicos que permitan el desplazamiento de los ejes X, Y, Z del sistema.
- Diseño de los ejes direccionales X, Y, Z para el desplazamiento.
- Análisis y selección de software para la interfaz entre hombre-máquina.
- Construcción de la estructura mecánica en general.
- Diseño e implementación de los circuitos electrónicos y del sistema de control de la máquina.
- Ensamblaje de los circuitos y componentes del sistema.
- Montaje de los sistemas electrónicos y mecánicos.
- Análisis de los parámetros de control y monitoreo del sistema.
- Desarrollo de un servidor web para control, monitoreo y acceso remoto para el sistema de corte.
- Desarrollo de pruebas de desplazamiento, velocidad y aceleración de los ejes X, Y, Z.
- Ejecutar pruebas de on/off de la antorcha.
- Realizar pruebas de operación de todo el sistema
- Elaboración del Informe Final.

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. Introducción

El presente proyecto tiene como finalidad la automatización de corte por plasma que se desarrolla en la empresa Invenios3D, con la finalidad de generar una mayor precisión en el mecanizado de piezas específicas y en el diseño de estructuras metálicas, el control se realiza por medio de un sistema numérico computarizado CNC.

4.2. Análisis de Factibilidad

Para el análisis de factibilidad se toma en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1. Factibilidad Técnica

El desarrollo de proyecto de investigación tiene factibilidad técnica debido a que los materiales mecánicos y electrónicos necesarios para la realización del sistema son accesibles en el país.

4.2.2. Factibilidad Institucional

El presente proyecto posee factibilidad institucional dado que la máquina de corte por plasma se encuentra instalada en la empresa.

4.2.3. Factibilidad Bibliográfica

La realización de la presente investigación es factible de forma bibliográfica ya que el tema a tratar se puede encontrar en libros, papers, tesis, revistas científicas, investigaciones, en la empresa a desarrollarse y en diferentes sitios de internet.

4.2.4. Factibilidad Económica

El presente proyecto de investigación es económicamente factible dado que el valor total del sistema es asequible para el Investigador.

4.3. Análisis del sistema de corte por plasma

En la figura 5 se puede observar el diagrama de bloques del proceso de corte por plasma, el cual consta del equipo de generación de plasma de marca BP modelo WT-60 alimentado por un voltaje de 220 v, que conjuntamente con un compresor de aire alimentado por 110v, el cual suministra una cierta cantidad de aire para que se produzca y surja el plasma de la antorcha. En la antorcha se encuentra ubicado un electrodo por el cual se produce el plasma en el momento que se cierra el circuito con la pieza de trabajo.

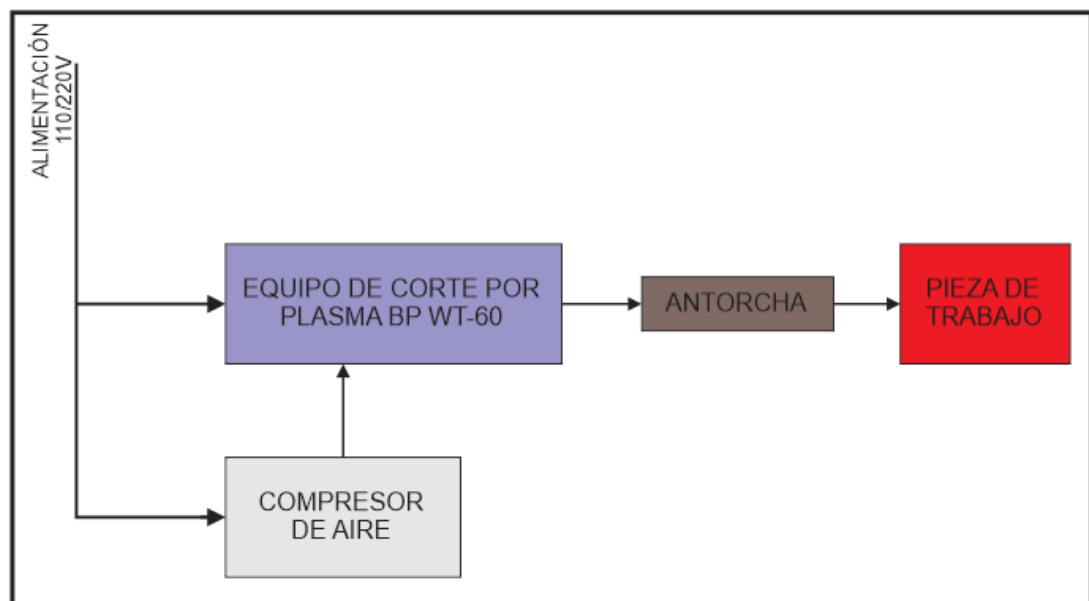


Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de corte por plasma

Fuente: Investigador

4.3.1. Plasma

El concepto de plasma se lo puede definir de la siguiente manera: El plasma es el nombre que recibe el cuarto estado de agregación de la materia (los otros son: sólido, líquido y el gaseoso). Está constituido por un flujo obtenido mediante la casi completa ionización de un gas, inicialmente neutro, que se encuentra a temperaturas muy elevadas. [31] El plasma es un gas que se ha calentado a gran temperatura y conduce la electricidad. Esto significa que los átomos sin carga se han descompuesto en iones

y electrones al suministrarle la energía de ionización. Esta energía puede suministrarse en forma de altas temperaturas o de campos eléctricos de gran intensidad. [32]

4.3.2. Producción del plasma

Para la producción del plasma se lo puede realizar de tres diferentes formas: [31]

- Mediante fuertes descargas eléctricas, calentando los elementos que rodean al gas neutro inicial.
- Calentando simplemente el gas hasta temperaturas próximas a los 7000 °C.
- Aprovechando la ionización producida por rayos muy energéticos.

4.3.3. Principio de funcionamiento de la cortadora por plasma.

El principio de funcionamiento de un sistema PAC normal es la siguiente: Se envía una señal de iniciar corte a la fuente de energía para arrancar el sistema. Se abre la válvula solenoide permitiendo que el gas fluya a la antorcha. El relé del arco piloto se asegura, activando el voltaje en circuito abierto entre la boquilla (+) y el electrodo (-). Se suministra una descarga de alta frecuencia (AF) como se indica en la figura. a la antorcha mediante un generador de alto voltaje con una salida de 3,000 a 10,000 V CA. El generador de alta frecuencia por lo general incluye un transformador de alto voltaje, capacitores, un conjunto explosor y una bobina.

La descarga de alta frecuencia ioniza el flujo de gas a través de la antorcha, convirtiéndolo en conductor de electricidad. El gas ionizado permite el flujo de corriente entre el electrodo y la boquilla. Esta corriente está limitada a 20 - 40 A CC por la resistencia del piloto. El arco sale por el orificio y se vuelve a unir a la superficie de la boquilla, formando un arco piloto como se muestra en la figura 6.

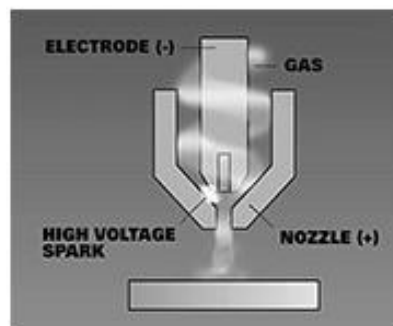


Figura 6. Descarga de alta frecuencia. [33]

El arco piloto forma la ruta eléctrica hacia la pieza a cortar. Si la antorcha está dentro de la distancia de transferencia, por lo general de 0.25 a 0.50 pulgadas del material, el arco piloto se transferirá a la placa, ya que la placa está conectada al polo positivo del circuito de CC y no está limitada por una resistencia como se muestra en la figura 6.

Un circuito con detección de corriente detecta la transferencia del arco, apaga el generador de AF y abre el relé de arco piloto como se observa en la figura 7.

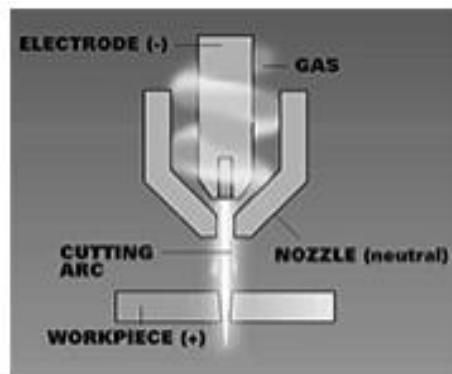


Figura 7. Formación de un arco de plasma [33]

Es decir, es un proceso que utiliza un chorro de alta velocidad de gas ionizado que se envía desde un orificio de constricción. La alta velocidad del gas ionizado, que es el plasma, conduce la electricidad desde la antorcha de plasma a la pieza de trabajo.

El plasma calienta la pieza de trabajo, fundiendo el material como se observa en la figura 8. El flujo de alta velocidad del gas ionizado sopla mecánicamente el metal fundido, rompiendo el material. [34]



Figura 8. Corte de la pieza de trabajo. [33]

4.3.4. Componentes de una cortadora de plasma

La cortadora plasma es constituida de la siguiente manera:

- Fuente de energía: se encuentra formado por un transformador rectificador trifásico el cual tiene una tensión que varía entre los 100 y 400 voltios en el vacío que permite la ionización del gas plasmógeno.

- Distribuidor de gas: en gran parte está compuesto por botellas de gas plasmógeno o en este caso de aire comprimido, y su función es mezclar el gas en proporciones requeridas.
- Generador de alta frecuencia: es de vital importancia debido a que realiza la tarea de ionizar parcialmente el gas plasmógeno alojado entre la boquilla y el electrodo y para iniciar el arco eléctrico en el interior de la pistola de porta electrodos.
- Antorcha: es el lugar en donde se forma el plasma y se utiliza como herramienta de corte.

4.3.5. Especificaciones técnicas del equipo

La empresa Invenios3D ya cuenta en su propiedad con una Cortadora de Plasma DC de marca BP modelo WT-60 como se indica en la figura 9.



Figura 9. Cortadora de Plasma BP WT-60. [35]

En la tabla 3 se detalla las principales características de la cortadora plasma.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de la cortadora.

Especificaciones Técnicas Generales	
Voltaje	220 v
Amperaje	0 – 60 A
Frecuencia	60 Hz
Consumo	60 PSI

Fuente: Investigador

Además de las especificaciones técnicas generales el equipo posee características importantes que se detallan de la siguiente manera:

- Es de tamaño compacto
- De peso ligero.
- Fácil encendido.
- Interfaces resistentes
- Cuenta con un ajuste de fuerza.
- Es de alto rendimiento
- Consta de protección contra sobre corriente
- Realiza un trabajo de corte preciso y baja salpicadura

En la figura 10 se visualiza la vista frontal del equipo.



Figura 10. Vista frontal de cortadora plasma.

Fuente: Investigador.

En la figura 11 se visualiza la vista trasera del equipo.



Figura 11. Vista Trasera de cortadora plasma

Fuente: Investigador.

4.3.6. Antorcha

La antorcha es la herramienta que se utiliza para el mecanizado de las piezas en acero, aluminio, etc. El equipo cuenta con el modelo de antorcha de plasma AG-60 como se indica en la figura 12.



Figura 12. Antorcha para corte de Plasma.

Fuente: Investigador

En la tabla 4, se describe las especificaciones técnicas generales de la antorcha.

Tabla 4. Especificaciones Generales de la Antorcha.

Especificaciones Generales	
Modelo de la antorcha	AG-60/ SG-55
Longitud del paquete de manguera	5 metros
Grosor del corte	Hasta 25 mm (depende del material)
Flujo de gas	80/120 l/min
Carga	La carga puede ser hasta 70 amperes
Presión de aire	Presión requerida entre 3 a 4,5 bar.
Peso	2,5 kg

Fuente: Investigador

En la figura 13 se observa las partes que constituyen el cabezal de la antorcha.

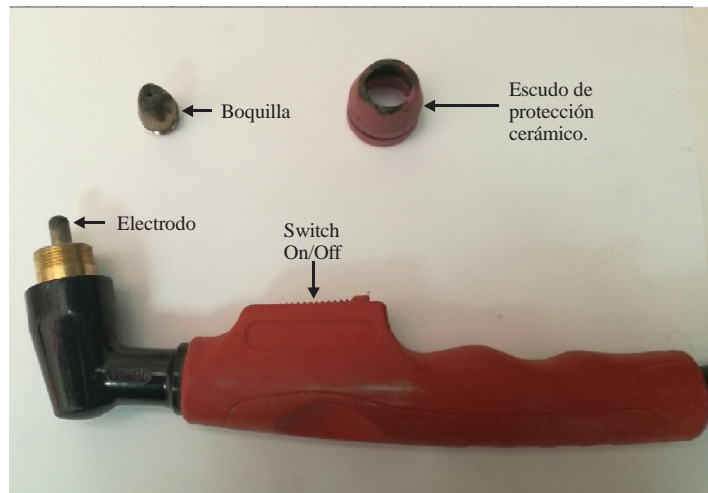


Figura 13. Cabezal de la antorcha y sus componentes.

Fuente: Investigador.

Para el control de la antorcha de forma automática se hará uso de un relé, el cual estará conectado de forma paralela al switch on/off, de esta manera se tiene el control de encendido y apagado de la antorcha.

4.4. Diseño de la estructura mecánica

En esta sección se detalla sobre los requerimientos de la empresa para el diseño y construcción de la estructura mecánica, además de realizar el análisis y selección de los elementos mecánicos del sistema para la automatización del corte por plasma.

4.4.1. Requerimientos de la empresa

Para el diseño y construcción de la máquina, la empresa Invenios3D recomendó tener en cuenta los siguientes requisitos:

- La estructura mecánica de toda la máquina debe ser resistente y robusta para soportar el diferente peso de los materiales con los que se trabaja ya sea el acero, el aluminio o el tol.
- La altura de la mesa de trabajo debe ser accesible para el operador en el momento de colocar y de retirar el material.
- El área de trabajo para mecanizar una pieza debe ser de por lo menos 600 x 1220 [mm], teniendo un sobrante para colocar el material.

- El sistema de control de la máquina debe ser desde el ordenador principal y desde cualquier dispositivo conectado a la misma red de la empresa, para realizar el proceso de mecanizado.

4.4.2. Control numérico computarizado (CNC)

Un sistema con control numérico computarizado es un medio de fabricación que es capaz de desarrollar un conjunto de operaciones tecnológicas de forma automática, sin la intervención del ser humano, en base a las operaciones numéricas que le establece un ordenador.

Una máquina de control numérico computarizado automatiza las tareas de mecanizado. Ya sea para cortar una parte de una lámina de metal, perforar agujeros en ella, o de lo contrario, darle forma, hay una máquina de CNC para el trabajo. Algunas máquinas CNC realizan múltiples operaciones. El diseño de la pieza es creado a través de un diseño asistido por computadora (CAD), luego se carga en la computadora de la cuchilla. Después de eso, la máquina realiza y le da forma a la parte.

4.4.3. Principio de funcionamiento de una CNC

Las máquinas CNC al utilizar una serie de órdenes, generadas por un software de control, tienen como finalidad el desplazamiento de una herramienta sobre una mesa de trabajo haciendo referencia a un sistema de coordenadas con ejes X e Y en la gran mayoría. Además, en algunos casos se puede lograr un movimiento de subida y bajada de la herramienta, en donde interviene otro eje de coordenadas que es el eje Z, teniendo el control de desplazamiento a lo largo, ancho y alto para la utilización de herramientas para el corte, fresado, grabado, etc. En la figura 14 se puede visualizar el diagrama de bloques de funcionamiento de una CNC.

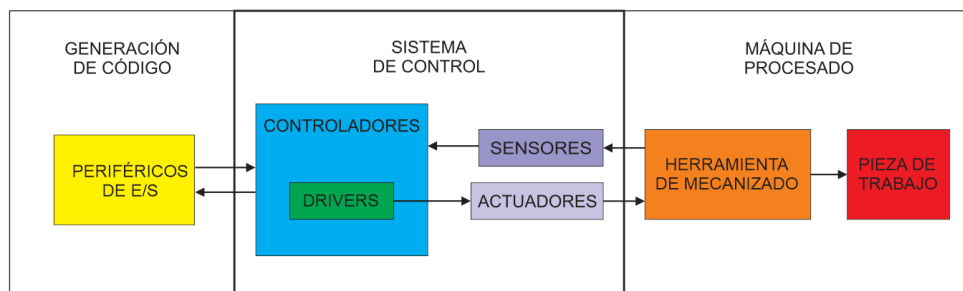


Figura 14. Diagrama de bloques del funcionamiento de una CNC

Fuente: Investigador

Existen modelos de sistemas con control numérico computarizado que van desde los dos ejes hasta los cinco ejes realizando movimientos de la máquina y de rotación de la pieza de trabajo.

4.4.4. Ventajas de ocupar un sistema con control numérico computarizado

La finalidad de la automatización es la producción de artículos con un alto grado de calidad, optimizando recursos y a un bajo costo, dando lugar a la implementación de un sistema con control numérico computarizado CNC el cual brinda ventajas como:

- Mayor precisión, debido que es asistido por computadora.
- Exactitud, ya que maneja un margen de error muy pequeño.
- Perdidas, con lo respecta al materia o materia prima las pérdidas son mínimas.
- Tiempo, en la realización de la pieza el tiempo se reduce.
- Desplazamiento, debido a que para posicionarse en un determinado punto este va hacer de una manera más rápida y exacta.
- Errores, es decir, se reduce en un gran porcentaje el error humano que se puede dar en el momento de trabajar con cualquier herramienta utilizada manualmente.
- Eliminar guías, en el momento de utilizar la cortadora plasma manualmente se debe realizar plantillas para el corte de piezas específicas.
- Complejidad, se puede realizar cualquier tipo de diseño sea simple hasta muy complejo, todo depende de la pieza a necesitar.
- Calidad, después de realizar una pieza se puede verificar y proceder a cortar varias similares con la certeza de que serán exactamente iguales.
- Modificaciones, sobre una pieza se la pueda modificar sin tener que volver a fabricarla.
- Espacio, ya que con un sistema CNC sustituye a varias herramientas. que ocupan un mayor espacio en el taller, que tienen la misma finalidad.
- Producción, debido a que ya se conoce el tiempo de producción de una pieza se puede calcular los tiempos de producción de un lote de piezas.

4.4.5. Dimensionamiento de la máquina

Para el dimensionamiento de la estructura mecánica se ha tomado en cuenta los requerimientos propuestos de la empresa Invenios 3D, en donde se manifestó que el material con el que más trabajos realizan es el aluminio seguido del tol y el acero con

menos frecuencia. Una plancha metálica en el mercado por lo general tiene un tamaño estándar de 1220 x 2440 [mm] según la norma de fabricación NTE INEN 115, el material adquirido por la empresa tiene las dimensiones de 600 x 1220 [mm], es decir un cuarto de la plancha. [36] Los trabajos que se realizan son de precisión y exactitud, ya que las piezas a mecanizar son de tamaños reducidos, es debido a esto que se opta a automatizar el sistema de corte por plasma.

Por lo tanto, según los requerimientos de la empresa la estructura cuenta con las siguientes dimensiones, el largo de la estructura es de 1500 [mm] que corresponde al eje Y, por un ancho de 1200 [mm] correspondiendo al eje X, y tiene una altura de 840 [mm] desde el suelo hasta la mesa de trabajo. Son dimensiones en que el operario puede insertar y retirar las planchas metálicas, sobre la cama de corte, con seguridad, facilidad y sin provocar alguna colisión con la máquina.

La estructura de la máquina es de tubo cuadrado de acero inoxidable ASTM A36 50x50x2, siendo un material muy recomendado para este tipo de estructuras debido a su durabilidad, manipulación, disponibilidad en el mercado y factibilidad económica.

La estructura de la máquina es encargada de soportar motores, guías, el sistema de transmisión, mesa de corte, etc., Por lo tanto, en el momento de armar la estructura, se tomó en cuenta que las soldaduras estén perfectamente alineadas tanto de la estructura como la de las guías ya que no debe tener deformaciones ni mostrar juego y a su vez dicha estructura debe ser liviana.

En la figura 15 se puede apreciar el dimensionamiento y la estructura de soporte del sistema.

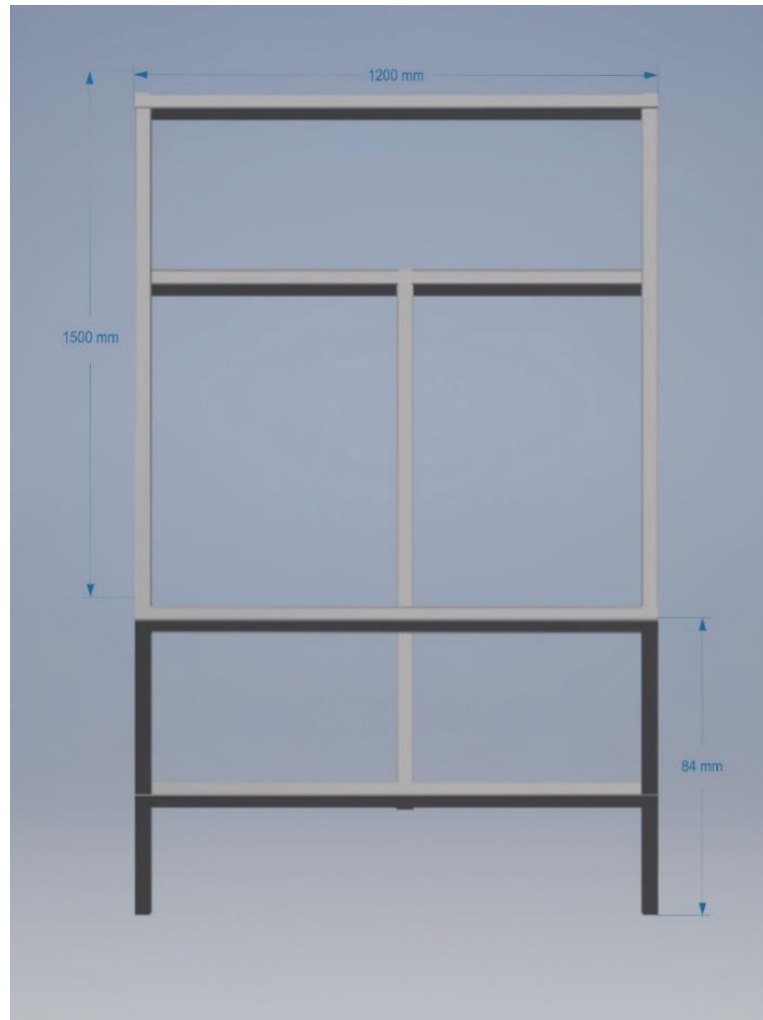


Figura 15. Diseño de estructura del sistema.

Fuentes: Investigador.

4.4.6. Diseño de la mesa de corte

El diseño de la mesa de corte es una parte fundamental en una máquina CNC, ya que de esto depende la precisión de los movimientos de los ejes y los procesos de producción, por lo que la mesa cuenta con características de alta resistencia en cuanto al calor provocado por la herramienta de corte y para soportar el peso de las planchas metálicas.

El diseño se basa en forma de rejilla utilizando ángulos en acero al carbono ASTM A36 20x20x3, adosados a la estructura de la máquina, como se indica en la figura 16, material utilizado en varias estructuras por su disponibilidad en el mercado, factibilidad económica, alta durabilidad y de alta fluencia para soportar el peso del material con el que se trabaja.

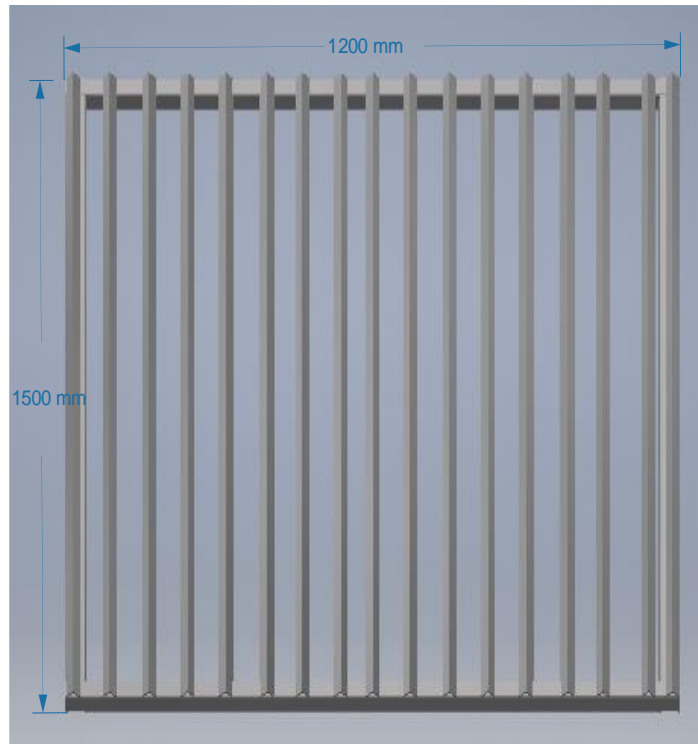


Figura 16. Diseño de mesa de corte

Fuente: Investigador.

4.4.7. Sistema de guía para los ejes

Para el sistema de guiado en el eje Y se utiliza ángulos en acero al carbono ASTM A36 20x20x3 de 1500 mm de longitud, adosados perfectamente en la parte superior y lateral de las vigas de la estructura, en forma de V, como se observa en la figura 17. De esta manera las guías permiten la movilidad, soportan el peso de la estructura de los carros del eje X, del eje Z y la estructura en donde se coloca la antorcha.



Figura 17. Vista frontal de la guía en el eje Y.

Fuente: Investigador.

Entonces, se utiliza ruedas corredizas metálicas con soporte exterior y rodamiento interno, las cuales están acopladas al carro del eje X permitiendo la movilidad y traslada el movimiento circular del motor a un movimiento lineal de la estructura. Las ruedas van montadas sobre las guías del eje Y, de esta manera permite que el carro no se descarrile. En la figura 18 se puede apreciar la rueda que se ocupa para dicho propósito, el diámetro de la rueda es de 40mm.



Figura 18. Rueda corrediza con soporte exterior. [37]

Para el eje X de igual manera se utiliza ángulos en acero al carbono ASTM A36 20x20x3 de 1100 mm de longitud, adosados a un perfil estructural de acero NTE INEN 1623 60x30 mm de manera paralela y alineados perfectamente como se muestra en la figura 19.



Figura 19. Vista frontal de la guía del eje X.

Fuente: Investigador

Se hace uso de rodamientos acoplados en la estructura del eje Z para que el carro adquiriera movilidad de manera horizontal, es decir, de izquierda a derecha, y a su vez soporta el peso ejercido por la estructura del eje y la estructura donde se coloca la antorcha. De esta manera el carro puede desplazarse con suavidad sobre la guía del eje. En la figura 20 se puede observar el rodamiento de bolas radial de diámetro exterior de 22 mm de tipo DIN 608-2RS.



Figura 20. Rodamiento de tipo DIN. [38]

Para el eje Z el sistema de guiado es a través de dos varillas lisas de aluminio NTE INEN 2 215 30x10 mm paralelamente ubicadas, en la figura 21 se puede observar la forma del sistema de guiado con dos varillas.

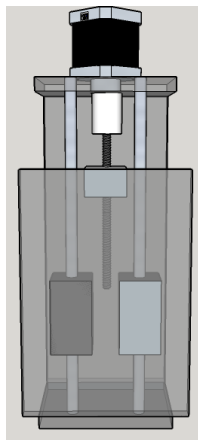


Figura 21. Sistema de guiado con varillas [39]

En la figura 22 se puede observar el sistema de posicionamiento de las guías y de los motores a ocupar, de color amarillo se encuentra las ruedas corredizas a utilizar en el eje Y, de color naranja se visualiza la posición que tienen los rodamientos para el desplazamiento del eje X y para el eje Z el desplazamiento se realiza a través de un tornillo de potencia que se lo visualiza de color rojo.

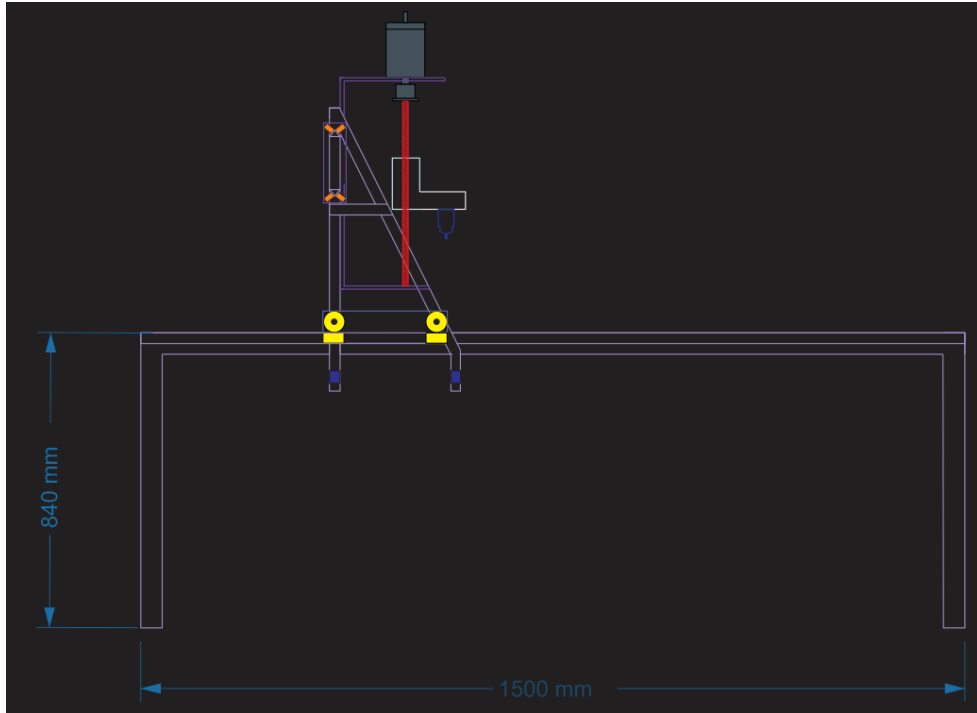


Figura 22.Sistema de guías y acoples para desplazamiento.

Fuente: Investigador

4.4.8. Análisis y selección de la transmisión de los ejes

Para el análisis y selección de la transmisión de los ejes se precisa una serie de parámetros para que se posibilite el traslado del movimiento de los motores a los carros de los distintos ejes, por lo que los sistemas de transmisión más conocidos son:

a) Correa

En la figura 23 se puede visualizar un tipo de transmisión por correa, los cuales se emplea en las máquinas para la transmisión indirecta de fuerzas a determinada distancia, este sistema consiste en utilizar una correa dentada conectada al motor y al eje que se desea mover mediante poleas y la fuerza que ejerce es mediante la fricción de la correa. En este tipo de transmisión, el valor de las potencias a transmitir, está dado por las velocidades periféricas, los coeficientes de rozamiento y la resistencia mecánica del material transmisor. [40]



Figura 23. Transmisión por correa [41]

b) Tornillo de potencia

La transmisión por tornillo de potencia consiste en conectar el tornillo al eje del motor, a través de un acoplador, y a su vez se conecta al eje que se desea mover. El avance se produce por el giro del tornillo, transformando el movimiento circular del motor a movimiento lineal y transmitir potencia, siendo uno de los más utilizados debido a sus costos y factibilidad en el momento de conseguir en el mercado. En la figura 24 se puede apreciar un tornillo de potencia con la tuerca.



Figura 24. Tornillo de Potencia [42]

c) Piñón-Cremallera

La transmisión en este sistema convierte el movimiento circular de un piñón en uno lineal continuo por parte de la cremallera, la cual es una barra rígida dentada. El movimiento rectilíneo de la cremallera se puede convertir en un movimiento circular

por parte del piñón al girar y estar engranado a la cremallera el cual empuja y así provoca el desplazamiento lineal, como se puede visualizar en la figura 25. [43]

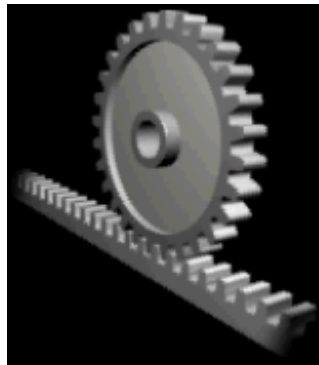


Figura 25. Piñón – Cremallera [43]

En la tabla 3, se realiza un análisis técnico comparativo de los parámetros principales a tomarse en cuenta para los diferentes sistemas de transmisión.

Tabla 5. Tabla comparativa de transmisiones de ejes.

Parámetros	Correa	Tornillo de potencia	Cremallera
Distancia	Pequeñas	Pequeñas, Medianas y Grandes	Medianas y Grandes
Costo	Medio y Alto	Bajo y Medio	Alto
Desgaste	Alto	Bajo-Medio	Bajo
Mantenimiento	Poco	Medio	Alto
Vida útil	Baja	Medio-Alta	Alta
Peso	Bajo	Medio	Alto
Accesibilidad en el mercado	Medio accesibilidad	Fácil accesibilidad	Difícil accesibilidad

Fuente: Investigador.

Para la transmisión de los tres ejes se ha seleccionado el tornillo de potencia por el motivo de presentar características muy viables y accesibles en comparación a los otros sistemas analizados.

4.5. Análisis y selección de hardware y software para el control y monitoreo del sistema

En la presente sección se analiza los componentes que forman parte del sistema electrónico del presente proyecto investigativo. En la figura 26 se muestra el diagrama de bloques general de conexiones de la parte eléctrica y electrónica del sistema.

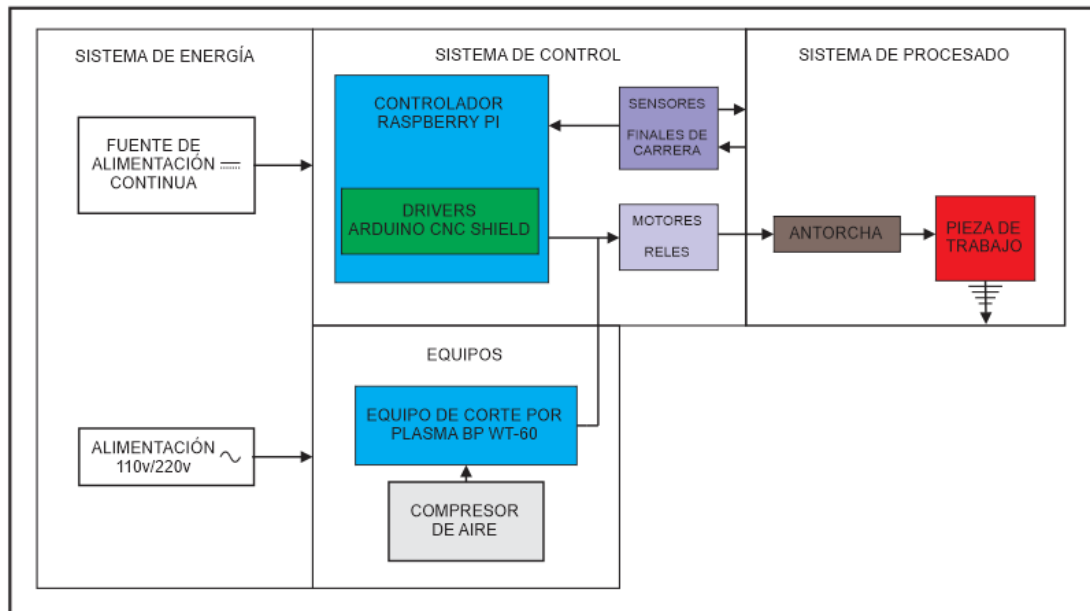


Figura 26. Diagrama de bloques de la conexión del sistema.

Fuente: Investigador

4.5.1. Motores

Para seleccionar los motores adecuados para un sistema CNC, se procede a analizar los motores más conocidos en el mercado los cuales son:

a) Motores DC

Los motores de corriente continua son un tipo de máquina con la que se convierte la energía en mecánica, para así provocar un movimiento de rotación gracias a la acción de un campo magnético. En la figura 27 se puede visualizar un motor DC, los cuales están compuestos por un estator con el que se le da soporte mecánico al aparato y es donde se ubican los polos de la máquina, que van a poder ser devanado de hilo de cobre sobre un núcleo de hierro o imanes permanentes y por otro lado está el rotor que casi siempre es de forma cilíndrica, el cual también está devanado y con núcleo y se

alimenta con corriente directa por medio de delgas, las cuales están en contacto de manera alterna con escobillas fijas. [44]



Figura 27. Motor DC. [44]

b) Servomotor

El servomotor es un dispositivo electromecánico que consiste en un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, todo dentro de una carcasa de plástico. Un servo tiene la capacidad de ser controlado en posición y además es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación generalmente dentro de los 180 grados. Los servos se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo (vehículos por radio-control, RC) debido a su gran precisión en el posicionamiento. [45] En la figura 28 se muestra un servomotor tradicional.



Figura 28. Servomotor [45]

c) Motor paso a paso

En la figura 29 se visualiza un motor paso a paso, el cual es un dispositivo electromecánico que convierte impulsos eléctricos en movimiento, es decir, a un motor a pasos se le proporciona una serie de impulsos eléctricos a sus bobinados en un orden

especifico y esta entrega desplazamientos angulares discretos (pasos) en su eje para cada uno de los pulsos aplicados. Dichos motores normalmente funcionan “a lazo abierto”, es decir que solamente se lleva el conteo de los pasos que se han dado al motor, pero no hay un dispositivo que provea retroalimentación (algo que nos indique la posición o velocidad del motor). [46]

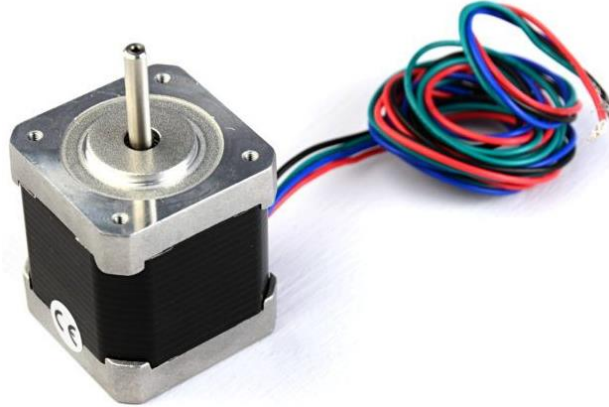


Figura 29. Motor Paso a Paso. [46]

Los motores paso a paso se clasifican por las bobinas que se encuentran en el interior es decir por la interconexión y la operación de los devanados.

a) Unipolares

Los motores de tipo unipolar identificables por tener 5,6 o incluso 8 alambres, también tienen dos bobinas, pero cada una tiene un grifo central. Los motores unipolares pueden pasar sin tener que invertir la dirección de la corriente en las bobinas. [47]

Están constituidos internamente por dos pares de bobinas, una bobina se magnetiza hacia el polo norte, y otra hacia el polo sur. En un momento inicial, el driver permite que pase la corriente por la bobina que magnetiza hacia el polo norte, y en el siguiente se enciende la que magnetiza al polo sur, es decir, el driver sólo tiene que encender y apagar cada bobina, por lo que la programación es sencilla. [48]

Normalmente los motores unipolares son más baratos y menos potentes. Los drivers para motores unipolares es básicamente una matriz de transistores y por eso suelen ser también de muy bajo costo y a su vez no gestionan la potencia que envían al motor, ni nada de eso. En la figura 30, se observa el esquema de un motor paso a paso unipolar de 6 cables en donde los pares de bobinas comparten un cable común. [48]

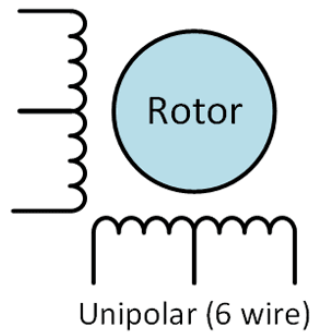


Figura 30. Esquema motor paso a paso unipolar de 6 cables. [45]

b) Bipolares

Los motores bipolares se encuentran constituidos internamente por 2 bobinas como se muestra en la figura 31. Los motores bipolares son el tipo más fuerte de motor paso a paso y generalmente tienen cuatro u ocho conductores, a su vez tienen dos conjuntos de bobinas electromagnéticas internamente, y el paso se logra cambiando la dirección de la corriente dentro de esas bobinas. [47]

La complejidad de estos motores está en el driver, porque no sólo tiene que permitir pasar la corriente por la bobina, sino que tiene que cambiar la polaridad de la corriente, por lo que la dicha corriente viaja en una dirección, creando un campo magnético norte/sur, y en el siguiente momento la dirección de la corriente se invierte, creando un campo magnético sur/norte. Debido a esta característica peculiar adquieren este nombre de motores bipolares porque están pensados en cambiar de polaridad durante el movimiento. [48]

Existen variedad de drivers para motores paso a paso, entre los más conocidos en el mundo de la impresión 3D y la robótica se tiene el chip de Allegro A4988 y el Texas Instruments DRV8825. [48]

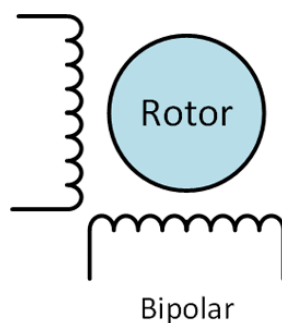


Figura 31. Esquema motor paso a paso bipolar con 4 cables. [48]

Tabla 6. Cuadro comparativo de motores.

Especificaciones Técnicas	Motor DC	Servomotor	Motor PAP
Control de velocidad	PWM	PWM (interno)	Por pasos
Velocidad	Alta	Media	Alta
Control de Posición	No	Si	Si
Numero de cables conductores	2	3	Entre 4 y 6
Angulo de rotación	360	180	360
Circuito de Control para funcionamiento	No es necesario	No es necesario	Si es necesario
Resolución	Baja	Media	Alta
Precisión	Baja	Media-Alta	Alta
Torque	Bajo	Alto	Medio-Alto
Aplicaciones	Ruedas de Carro RC, Ventiladores, etc.	Brazo Robótico, Control de un timón de un barco, etc.	Impresoras 3D, Máquinas CNC, etc.

Fuente: Investigador.

En base a las especificaciones técnicas de la tabla 6, se selecciona los motores paso a paso como la mejor opción para desarrollar el proyecto de investigación, debido a las características que presenta como el control de posicionamiento del motor, la velocidad, y la fuerza que brindan dichos motores.

4.5.2. Motores Paso a Paso

Los motores paso a paso son la mejor opción para implementar en una máquina CNC, son sumamente recomendados por la precisión, exactitud y fuerza que presentan en el momento de trabajar en diferentes aplicaciones, y si es el caso de máquinas CNC es la mejor opción, los motores paso a paso se clasifican dependiendo de su estructura física:

a) Motor paso a paso de imán permanente.

Los motores paso a paso de imán permanente tienen un núcleo compuesto por un imán permanente de perfil redondeado. Cuando se excita el estator, las bobinas se comportan como electroimanes y entonces el imán del rotor busca alinearse con campo generado.

La forma esquemática para el principio de funcionamiento se observa en la figura 32, en donde se visualiza como se puede fijar la posición del rotor con la forma de alimentación de las bobinas. [49]

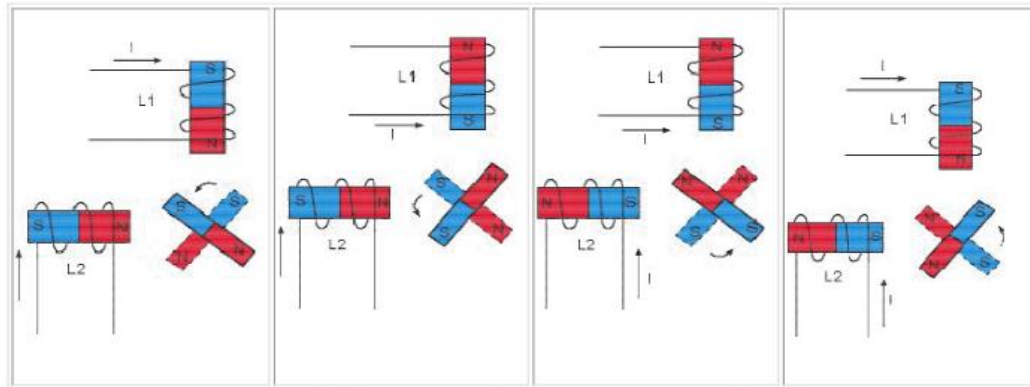


Figura 32. Principio de funcionamiento de un motor paso a paso de imán permanente. [49]

b) Motor paso a paso de reluctancia variable.

El rotor es de acero dulce, cilíndrico y perfil dentado, cuando se excita el estator el flujo generado circula por el rotor, y éste intentará buscar la posición de menor reluctancia.

En la figura 33, se esquematiza el principio de funcionamiento de este tipo de motores, en el primer paso solo se encuentra alimentada la bobina I, y el rotor se alinea con dicha bobina, al alimentas también la bobina II el rotor se encuentra alineado con I pero muy desalineado con II, entonces aparece una fuerza que tiende a igualar la condición reluctancia de las dos bobinas, entonces gira hasta llegar la posición de equilibrio. Luego si se deja de alimentar I el rotor girará hasta alinear el rotor con la bobina II. Del mismo modo alimentando luego II y III, y luego alimentando solo III se produce el movimiento de giro. [49]

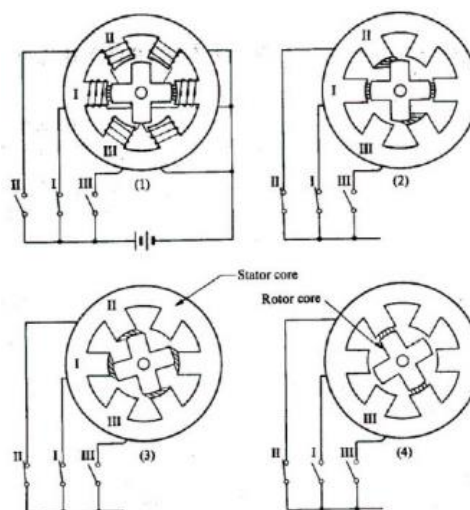


Figura 33. Principio de funcionamiento de un motor paso a paso de reluctancia variable. [49]

c) Motor paso a paso híbrido

El motor híbrido consiste en un estator dentado y un rotor de tres partes. El rotor de apilado simple contiene dos piezas de polos separados por un magneto permanente magnetizado, con los dientes opuestos desplazados en una mitad de un salto de diente para permitir una alta resolución de pasos, como se observa en la figura 34.

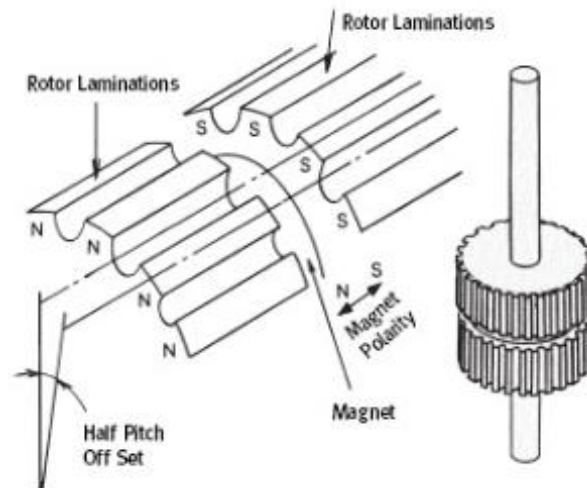


Figura 34. Rotor de un motor paso a paso híbrido. [49]

El principio de funcionamiento se basa al excitar las bobinas del estator se alinean los dientes del estator con los del rotor de la carga apropiado. En el paso 1 se excitan las bobinas impares, polo norte (N) en las bobinas 1 y 5, y polo sur (S) en las bobinas 3 y 7; y el rotor se alinea con el campo. Luego en el paso 2 se excitan las bobinas pares, polos N las 2 y 6, y polo S las 4 y 8; entonces el rotor buscando alinear los dientes más próximos a los del estator se desplaza un ángulo que se corresponde a un cuarto del paso de los dientes. En el paso tres se alimentan nuevamente las bobinas impares, polo N en las bobinas 3 y 7, y polo S en las bobinas 1 y 5, el rotor se gira otro cuarto de paso. Entonces se ve que cuando se realicen 5 pasos se repiten los estados de excitación del estator consiguiendo una rotación del rotor correspondiente al paso de un diente. Entonces con un número bajo de bobinas se pueden obtener pasos muy chicos, alcanzando valores de hasta 0.9° por paso. [49] En la figura 35, se visualiza el principio de funcionamiento de un motor paso a paso híbrido.

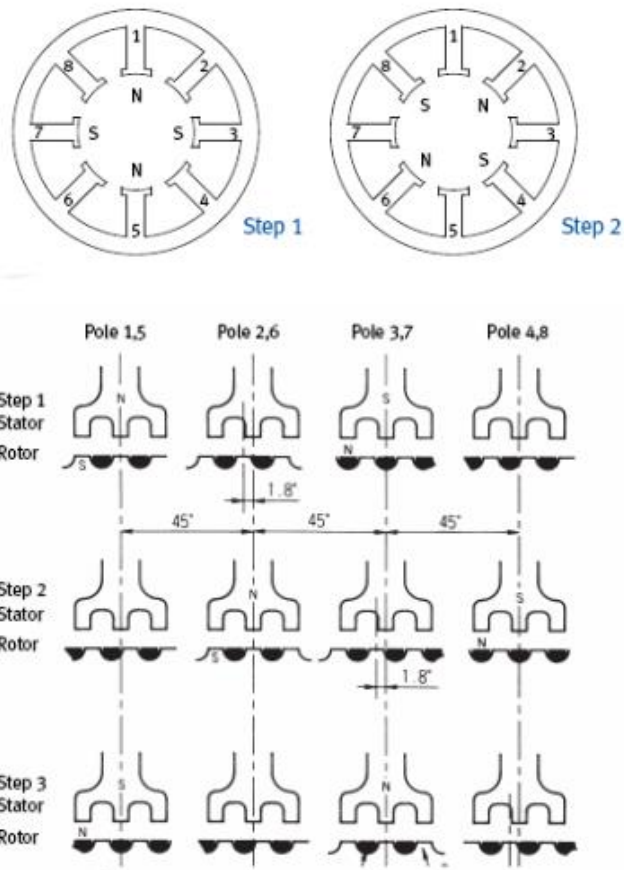


Figura 35. Principio de funcionamiento de un motor paso a paso híbrido. [49]

Tabla 7. Cuadro de clasificación de los motores paso a paso.

Clasificación	Características
Motores de imán permanente	<ul style="list-style-type: none"> ❖ El rotor es un imán. ❖ El estator está formado por 4 polos. ❖ Cada polo es una fase. ❖ Al excitar de forma secuencial, gira en sentido horario, dando un paso cada 90 grados. ❖ El ángulo es inversamente proporcional a los polos de estator y al polo magnético del rotor, es decir toca aumentar los polos para disminuir el ángulo. ❖ El rotor permanece en posiciones fijas. ❖ La máxima densidad de flujo está limitada por el magnetismo remanente del rotor.
Motores de reluctancia variable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ El motor cuenta con tres fases con seis dientes saliente. ❖ Los polos se encuentran separados 180 grados. ❖ Las bobinas correspondientes a los polos se conectan en serie. ❖ El rotor posee cuatro polos.
Motores Híbridos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ El rotor es un imán permanente. ❖ Su funcionamiento puede ser en los dos tipos de motores ya analizados.

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Los dientes de los polos pueden corresponder a fases diferentes. ❖ Los motores de este tipo son magnetizados longitudinalmente. ❖ Los polos son recubiertos por una estructura dentada en acero blando. ❖ Los dientes de las dos secciones están desalineados medio diente unos con otros.
--	---

De acuerdo a la tabla 7, los motores paso a paso híbridos presentan características de mejor rendimiento, esto se debe a que es una combinación de los motores de reluctancia variable e imanes permanentes, por lo tanto, son motores de gran rendimiento para el presente proyecto y a su vez son mayormente recomendados para el campo de trabajo con maquinaria CNC.

El modelo de motor paso a paso a ocupar en el sistema es una nema 23, presentando características de alto torque en todas sus versiones lo que lo hace ideal para este tipo de máquinas. En el Anexo A se encuentra la hoja de datos del motor a ocupar. Los motores a utilizar son el modelo KH56KM2U004A híbrido, el cual es óptimo para trabajar en el presente proyecto, en la tabla 8, se detallan las características más relevantes del motor paso a paso.

Tabla 8. Especificaciones de motor paso a paso.

Descripción	Valor	Unidad
Modelo	KH56KM2	
Angulo de paso	1.8	Grados
Pasos por vuelta	200	Pasos
Voltaje	1.6	Voltios
Corriente	2.1	A
Resistencia	1.32	Ω
Inductancia	3.19	mH
Torque	0,932	mN
Inercia del rotor	188	$g \cdot cm^2$
Peso	650	g
Dimensiones	56x56x96	mm

Fuente: Investigador

4.5.3. Drivers

Los drivers para los motores a paso son de suma importancia debido a que controlan la corriente que llega a las bobinas de los motores, los drivers permiten el paso de corriente desde la fuente de alimentación hasta la bobina del motor. Entre los drivers más populares se tiene:

a) Driver para motor paso a paso A4988.

El driver A4988 es un circuito controlador de motores paso a paso bipolar que permite manejar un motor paso a paso bipolar de hasta 2A de corriente desde cualquier microcontrolador. Este driver para motores paso a paso cuenta con un limitador de corriente, y protección de sobre calentamiento y de exceso de consumo para garantizar un funcionamiento correcto. El driver opera en un rango de 8 hasta 35V con una corriente de 1A por fase (sin un disipador de calor) y tiene capacidad para soportar hasta 2A por bobina si hubiera suficiente refrigeración adicional. Este driver es famoso por ser el más utilizado en la impresora 3D para el control de los diferentes motores paso a paso de las mismas. Tiene una interface tipo paso y dirección, cuenta con micropasos de hasta 1/16, con control inteligente del consumo cuando el motor está parado y control ajustable de la corriente y todo ello en un pequeño circuito que se con gran facilidad de instalación. El driver incorpora cinco posibilidades de movimiento: paso completo, medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso y la decimosexta parte de paso, por lo que resulta muy versátil a la hora de utilizarlo en diferentes proyectos o necesidades específicas de movimiento. En la figura 36 se visualiza el circuito del driver A4988. [50]



Figura 36. Circuito integrado de control A4988. [46]

b) Driver para motor paso a paso DRV8825

El circuito controlador de motores paso a paso DRV8825 es una versión mejorada y de más potencia del famoso A4988, que proporciona una potencia de 1,5 amperios de forma continua y hasta 2,2 A con refrigeración adicional. Tiene una disposición de pines totalmente compatible con el A4988 por lo que puede ser un reemplazo directo del mismo, pero con más potencia para controlar motores paso a paso bipolares de entre 8,2 y 45 V. Cuenta con micro pasos entre 1 y 1/32 en seis velocidades diferentes. Posee un potenciómetro que permite ajustar el consumo de corriente para evitar daños en el motor y tener un movimiento más suave y continuo del mismo. En la figura 37 se puede observar el driver DVR8825 [51]

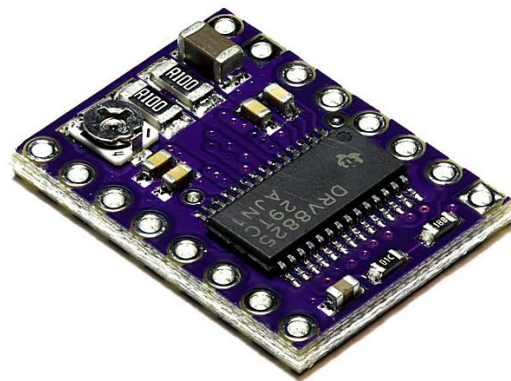


Figura 37. Circuito integrado de control DVR8825. [47]

En la Tabla 9 que se muestra a continuación, esta detallado las características principales de los drivers, que se consideraron para la selección del elemento que mayor se acople al sistema electrónico.

Tabla 9. Cuadro comparativo de drivers

Drivers	A4988	DVR8825
Numero de pines	16	16
Rango de operación	8 a 35 v	8,2 a 45 v
Micro pasos	1/16	1/32
Corriente Recomendada	1 A	1,8 A
Corriente Máxima	2 A	2,5 A
Precio	Bajo	Medio-Alto

Fuente: Investigador

En base a las características de los drivers descritos anteriormente, se ha hecho la elección del driver DVR8825, el cual posee un rango de corriente suficiente para

trabajar en los motores a ocupar en el sistema, como principal característica para la selección del driver.

El driver DRV8825 es una solución para el control de motores paso a paso bipolares, usados en impresoras, escáneres y otras aplicaciones de equipos automatizados. El dispositivo integra dos puentes en H de NMOS, detección de corriente, circuitos de regulación y un indexador de micro-pasos el cual es capaz de ejecutar a una alta precisión sin requerir que el procesador controle el nivel actual. [52]

La corriente a través de los devanados del motor está tiene una regulación de corriente por PWM de frecuencia fija o de corriente. Cuando se habilita el puente H, la corriente aumenta a través del devanado a una velocidad que depende del voltaje de CC y la inductancia del devanado. Una vez que la corriente alcanza el umbral de corte actual, el puente desactiva la corriente hasta el comienzo del siguiente ciclo de PWM. [52]

En los motores paso a paso, la regulación de corriente se usa para variar la corriente en los dos devanados de forma semi-sinusoidal para proporcionar un movimiento suave. La corriente de corte PWM es establecida por un comparador que compara el voltaje a través de una resistencia de detección, multiplicado por un factor de 5, con un voltaje de referencia. [52]

Para el cálculo del voltaje de referencia para la calibración de los drivers se define por la siguiente ecuación (5): [52]

$$I_{max} = \frac{V_{ref}}{5 * R_{sen}} \quad (5)$$

I_{max} : Corriente máxima que soporta el motor [A]

V_{ref} : Voltaje de referencia para el driver. [V]

R_{sen} : Resistencia de sensibilidad del driver. [Ω]

En la ecuación 5, se conoce la corriente máxima que soporta el motor que es de 2A, entonces se despeja el voltaje de referencia y la ecuación 6 se define de la siguiente manera:

$$V_{ref} = I_{max} * 5 * R_{sen} \quad (6)$$

Reemplazando valores en la ecuación 6, se tiene como resultado el voltaje de referencia:

$$V_{ref} = 2A * 5 * 0,1 \Omega$$

$$V_{ref} = 1 V.$$

Los motores PAP para trabajar en pasos completos necesitan un 70 % en corriente máxima, es decir del cálculo de voltaje de referencia anteriormente hallado se multiplica por 0,70 del porcentaje, por lo que se procede a realizar el siguiente calculo:

$$= 1 V * 0,7 = 0,7 V$$

Entonces, el valor de voltaje al cual se debe trabajar con los drivers es de 0,7 V para este tipo de motores, para calibrar el driver posee un potenciómetro al cual se le regula para obtener dicho valor. En la figura 38 se puede observar el driver y el potenciómetro de regulación.



Figura 38. Driver DRV8825 y potenciómetro de regulación.

Fuente: Investigador

4.5.4. Finales de carrera

Los finales de carrera no son nada más que pulsadores o botones, utilizados en varios sistemas automatizados como en un sistema con control numérico computarizado, en donde delimitan acciones de varios elementos, en este caso detener los motores. También sirven de medida de seguridad para no ocasionar colisiones de los ejes y que no salga del área de trabajo.

La principal diferencia de los finales de carrera con los botones es en su forma física, ya que dispone de una pequeña palanca la cual al accionarla cierra el circuito, permitiendo o negando el paso de corriente, dando lugar a que se detenga el eje. Otra característica única es que consta de 3 pines detallados de la siguiente manera:

- COM (común): como dice su nombre es el pin común.
- NO (normalmente abierto): al estar accionado pasa corriente.
- NC (normalmente cerrado): al estar accionado no pasa corriente.

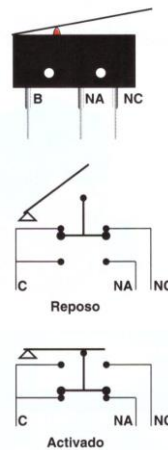


Figura 39. Estructura Finales de Carrera [53]

Existe varias formas para conectar los finales de carrera, NO, NC, con un número mínimo de limites o con un número máximo, etc. La configuración más recomendable es optar por normalmente cerrados (NC), debido a que tiene una seguridad extra si por un caso algún cable se encuentra roto o en mal estado, por el contrario, si se trabaja con la configura normalmente abierto (NO) y presenta los mismos inconvenientes no se enviara ninguna señal por lo que los motores no se detendrán y se ocasionara colisiones y daños en la estructura. En la figura 40 se observa el final de carrera a ocupar.

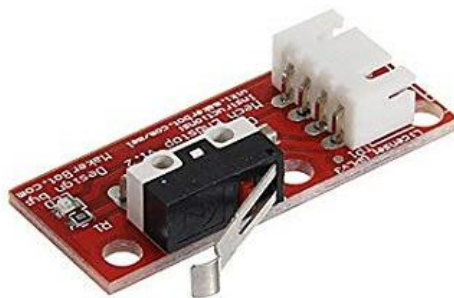


Figura 40. Final de Carrera [54]

4.5.5. Arduino

Para la implementación del sistema de control se utilizó la plataforma Arduino, dicha plataforma es de software y hardware libre, en la actualidad se utiliza en varios proyectos e investigaciones en diferentes áreas de estudio, teniendo un rendimiento muy aceptable de trabajo. En el área de impresoras 3D y CNC, Arduino presenta grandes ventajas debido a sus prestaciones que ofrece siendo una tarjeta con fácil accesibilidad y, además, de ser compatible con centenares de módulos existente en el mercado, entre ellos se encuentran módulos controladores de motores, módulos de sensores, módulos de actuadores, etc.

En la parte de hardware de la plataforma Arduino se encuentra gran variedad de tarjetas controladoras que varían según sus especificaciones técnicas, tamaños, etc. En la tabla 10 se visualiza las características principales de cada tarjeta que se considera para implementar en el proyecto investigativo.

Tabla 10. Cuadro comparativo de tarjetas de la plataforma Arduino.

Tarjeta	Arduino Uno	Arduino Mega R3	Arduino Leonardo
Microcontrolador	ATMega328	ATMega2560	ATMega32u4
Voltaje (Min-Max)	5 - 20v	5 - 20v	5 – 20v
Voltaje Recomendado	7 - 12V	7 v 12v	7 v 12 v
E/S digitales	14 pines digitales (6 salidas PWM)	54 pines digitales (14 salidas PWM)	20 pines digitales (7 salidas PWM)
Entradas analógicas	6	16	12
Corriente de I/O Pin	40 mA	20 mA	40mA
Compatibilidad con shield CNC	Si	Si	Si
Costos	Bajo	Medio	Alto

Con base a las características presentadas en la tabla 10, el modelo a utilizar para el sistema de control de los motores es un Arduino UNO, debido a su compatibilidad con el firmware Grbl el cual se describe posteriormente, en la figura 41 se presenta los pines de configuración para el firmware en una tarjeta Arduino UNO, por lo que la

tarjeta seleccionada permite ocupar los pines necesarios para el control de una máquina CNC de esta manera se optimiza recursos tanto en diseño como en económico.

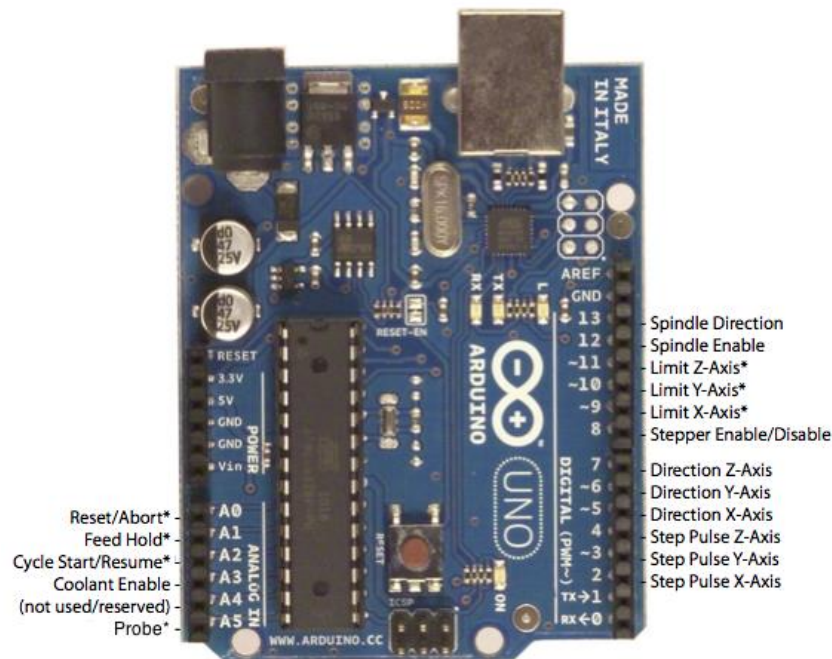


Figura 41. Pines de configuración con Arduino UNO

4.5.6. Shield CNC Arduino

La Shield CNC Arduino permite el control para el acoplamiento de los drivers con los sensores y actuadores que estén presentes en la máquina CNC, existen varias versiones de Shield CNC para Arduino entre las comunes se encuentran las siguientes:

➤ CNC Shield V2.0

Keyestudio CNC Shield V2.0 se puede utilizar como placa de expansión del controlador para máquinas de grabado. Tiene en total 3 ranuras de canal para módulos de controlador de motor paso a paso A4988 para controlar 3 canales de motores paso a paso. Cada canal del motor paso a paso solo necesita 2 puertos IO, lo que significa que 6 puertos IO son suficientes para administrar 3 motores paso a paso. [55] En la figura 42 se puede visualizar de forma física la tarjeta Shield CNC v2.0.



Figura 42. Tarjeta CNC Shield v2.0 [55]

➤ **CNC Shield v3.0**

La tarjeta Arduino CNC Shield es una pequeña placa que permite controlar hasta 4 motores paso a paso fácilmente con un Arduino gracias a su formato shield. Soporta 4 controladores de potencia Pololu A4988 o Pololu DRV8825 y dispone de todas las conexiones necesarias para conectar interruptores de final de carrera, salidas de relé y diversos sensores. Es totalmente compatible con el firmware de control GRBL y puede ser utilizada con cualquier modelo de Arduino, aunque se recomienda utilizar un modelo del tipo Arduino UNO o Arduino Leonardo. [56] En la figura 43 se puede visualizar de forma física la tarjeta shield CNC v3.0.

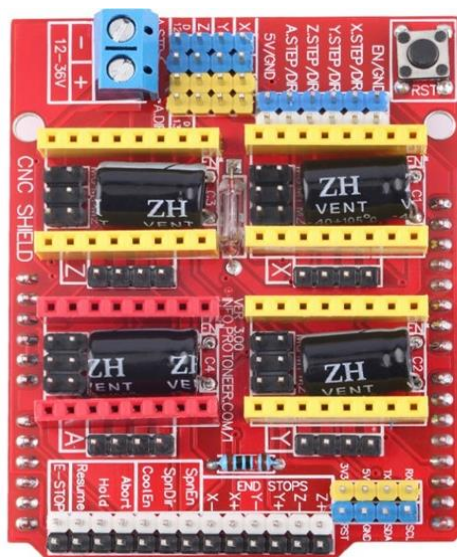


Figura 43. Tarjeta CNC Shield v3.0

En la tabla 11 se muestra las características principales de las tarjetas CNC shield.

Tabla 11. Cuadro comparativo entre CNC Shield

Características	CNC Shield V2.0	CNC Shield V3.0
Compatibilidad con GRBL	Si	Si
Soporte para ejes	3 ejes	4 ejes
Pines para finales de carrera	6 pines (2 por eje)	6 pines (2 por eje)
Dirección y habilitación del Husillo	Si	Si
Refrigerante	Si	Si
Drivers compatibles	A4988 y DVR8825	A4988 y DVR8825
Diseño	Compacto	Compacto
Tipo de pines para motores	Molex para 4 pines	Molex para 4 pines
Alimentación	12 – 36v	12v

Fuente: Investigador

Las tarjetas CNC Shield cuentan con una gran similitud, sin embargo, la tarjeta CNC Shield V3.0 se seleccionó para ser implementada en el sistema, debido a que tiene un soporte extra, es decir para el control de 4 motores lo cual se ajusta a las necesidades del proyecto. En el anexo B se encuentra la hoja de datos de la tarjeta.

4.5.7. Ordenador

En la actualidad existen varios tipos de hardware que con el transcurso del tiempo siguen mejorando dependiendo del avance de la tecnología, entonces se ha preferido trabajar con hardware libre para este tipo de proyecto, por lo que se ha optado trabajar con un ordenador de la familia Raspberry Pi, debido a que es una tarjeta de tamaño compacto que soporta varios componentes y cuenta con algunos puertos USB (depende el modelo), puerto ethernet, salida HDMI, en donde se pueden conectar periféricos como el mouse, teclado, pantalla, etc. Convirtiéndose en un miniordenador muy potente para poder desarrollar cualquier tipo de sistema. En la tabla se muestra información y características de varios modelos de Raspberry Pi, con la finalidad de seleccionar un ordenador que cumpla y cubra las necesidades del proyecto de investigación.

Tabla 12. Cuadro comparativo de los modelos de Raspberry Pi

Parámetros	Modelo A	Modelo B	2 Modelo B	3 Modelo B	3 Model0 B+
SoC	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2837B0

CPU	700MHz ARM1176 JZF-S	700MHz ARM1176 JZF-S	900MHz Quad-core ARM Cortex- A7	1.2Ghz QUAD ARM Cortex- A53	1.4GHz QUAD ARM Cortex- A53
GPU	Video Core IV	Video Core IV	Video Core IV	Video Core IV	Video Core IV
RAM	256Mb	512Mb	1Gb	1Gb	1Gb
USB	1	2	4	4	4
VIDEO	RCA, HDMI	RCA, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI
AUDIO	Jack, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI
BOOT	SD	SD	MicroSD	MicroSD	MicroSD
RED	No dispone	Eth.10/100	Eth.10/100	Eth.10/100, Wifi, BT	Eth.10/100- 300(USB)Dual Band, Wifi, BT.
ALIMENT.	MicroUSB /GPIO	MicroUSB /GPIO	MicroUSB/ GPIO	MicroUSB/ GPIO	MicroUSB/ GPIO/ PoE(HAT)
PRECIO	\$ 42	\$43	\$47	\$60	\$79

En el presente proyecto se optó por implementar el ordenador Raspberry Pi 3 modelo B, para alojar el software de control del sistema, en la tabla 12 se observa en detalle las principales características del ordenador. La Raspberry Pi 3 modelo B + presenta algunas características mejoradas, es lo más óptimo implementar el sistema con dicho ordenador, pero para el proyecto investigativo presente es suficiente realizarlo con el modelo anterior y además se economiza recursos económicos y tecnológicos.

4.5.8. Firmware GRBL

El autor original del firmware GRBL es el noruego Simen Svale Skogsrud que en el año 2007 inicio investigaciones y diseños de un control para motores paso a paso por lo cual comenzó a desarrollar en Arduino y al poco tiempo después de publicar el código, Sonny Jeon continuo con el desarrollo de este firmware y al cabo de menos de un año se convirtió en uno de los principales desarrolladores de este firmware. [57]

Grbl es un firmware gratuito de código abierto de alto rendimiento para controlar el movimiento de las máquinas que se mueven, que hacen cosas o que hacen que las cosas se muevan, y se ejecutarán en Arduino. La mayoría de las impresoras 3D de código abierto tienen Grbl. Ha sido adaptado para su uso en cientos de proyectos, incluidos las cortadoras láser, los escritores manuales automáticos, los perforadores de agujeros, los pintores de graffiti y las máquinas de dibujo. Debido a su rendimiento, simplicidad y requisitos de hardware frugal, Grbl se ha convertido en un pequeño fenómeno de código abierto. [58]

En el entorno IDE de Arduino indicado en la figura 44, sirve para compilar y cargar el firmware de Grbl a Arduino, se necesita la librería de Grbl que se lo puede descargar gratuitamente de la red.



Figura 44. Entorno IDE de Arduino

Fuente: Investigador

Se selecciona y carga la librería Grbl-master como se muestra en la figura 45.

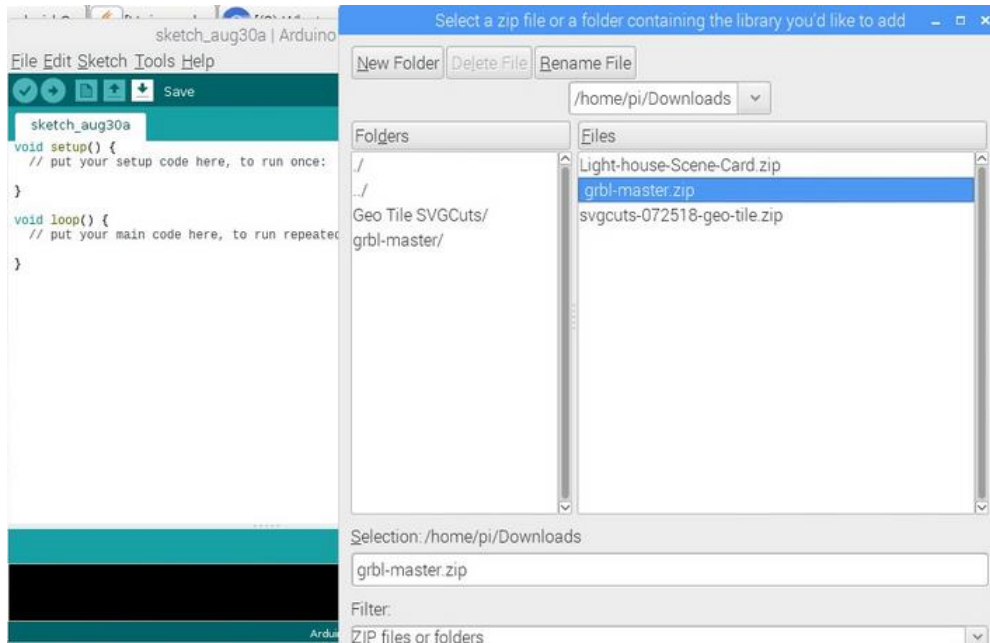


Figura 45. Cargando la librería Grbl a IDE de Arduino.

Fuente: Investigador

En la figura 46, se visualiza la pantalla del ejemplo de Grbl, en donde se procede a compilar y subir el archivo Grbl a la tarjeta Arduino UNO.



Figura 46. Subida de Firmware Grbl a la tarjeta Arduino UNO

Fuente: Investigador

Para la confirmación de que el firmware este subido y funcionando en la tarjeta Arduino se ejecuta el monitor serie del entorno en donde se visualiza la versión del firmware como se indica en la figura 47.



Figura 47. Monitor serie con mensaje de la versión de firmware Grbl.

Fuente: Investigador.

Una vez compilado, subido, y confirmado el firmware Grbl a la tarjeta Arduino, se procede a conocer los principales comandos con los que cuenta el firmware. Para visualizar los comandos se digita el signo \$ seguido de un enter. En la tabla 13 se visualiza los comandos generales.

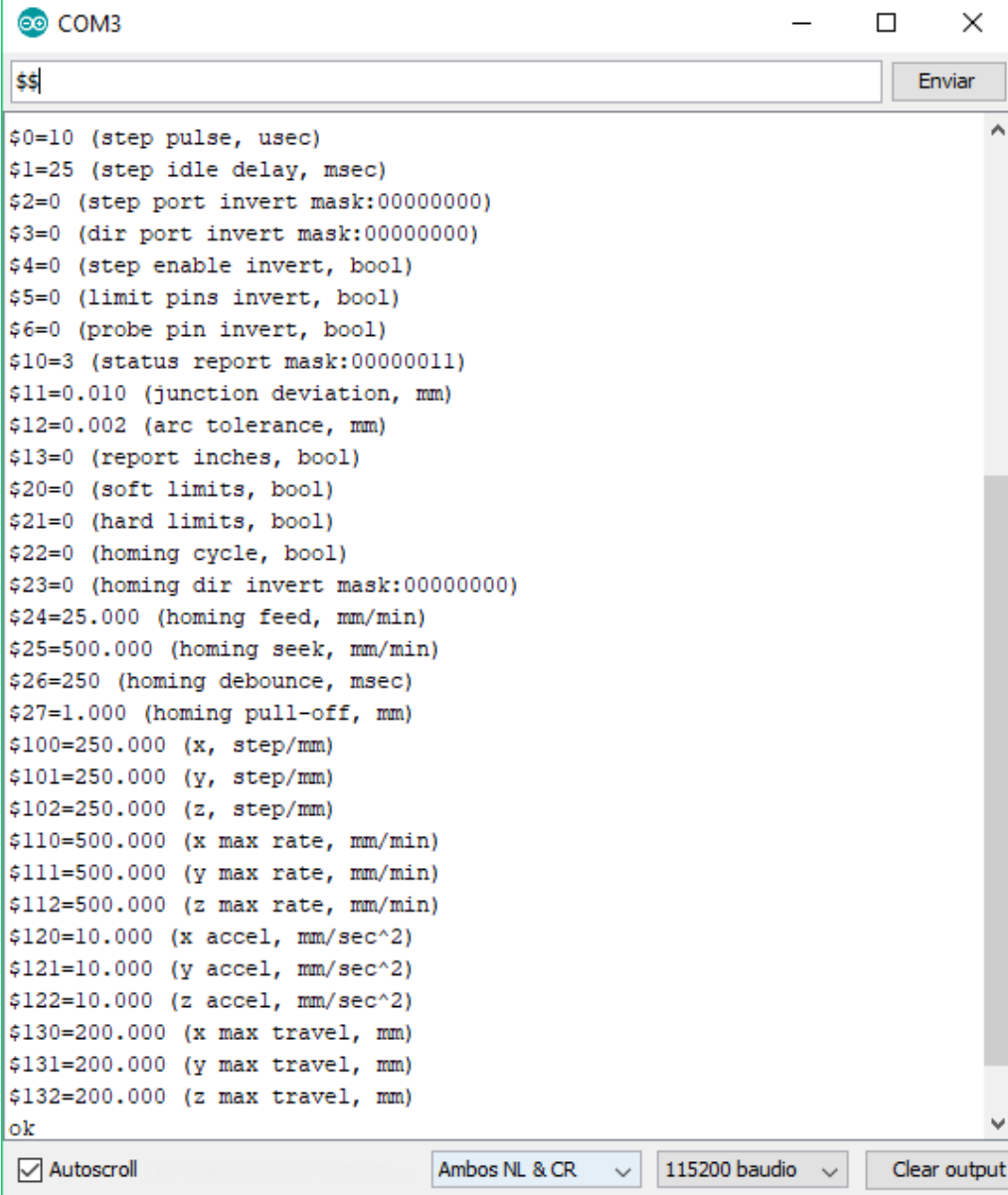
Tabla 13. Comandos en GRBL

Comandos	Descripción
\$\$	Visualiza la configuración de Grbl
\$#	Visualiza los parámetros #
\$G	Visualiza el estado del analizador
\$I	Visualiza la información de construcción
\$N	Visualiza los bloques de inicio
\$x = value	Guarda la configuración de Grbl
\$Nx = line	Guarda los bloques de inicio
\$C	Verifica el modo Gcode
\$X	Apaga el bloqueo de alarma
\$H	Ejecuta el ciclo de homing
Comandos de control en tiempo real	
~	Inicia el ciclo
!	Retención de alimentación
?	Estado actual
Ctrl-x	Resetea Grbl

Fuente: Investigador

Los comandos visualizados son del firmware Grbl que sirven para la configuración, ver o cambiar los estados y modos de ejecución de Grbl. Existen cuatro comandos de control en tiempo real, es decir, que se ejecutan en cualquier instante sin importar lo que esté haciendo Grbl o imprimen informes de datos de la posición actual en tiempo real.

Al presionar los símbolos \$\$, se visualiza las configuraciones de Grbl cargadas a la tarjeta. En la figura 48 se indica las configuraciones de Grbl.



The image shows a serial terminal window titled "COM3". The input field contains "\$\$" and the "Enviar" button is visible. The output displays the following configuration parameters:

```
$0=10 (step pulse, usec)
$1=25 (step idle delay, msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=0 (dir port invert mask:00000000)
$4=0 (step enable invert, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool)
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.010 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=0 (homing cycle, bool)
$23=0 (homing dir invert mask:00000000)
$24=25.000 (homing feed, mm/min)
$25=500.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=250.000 (x, step/mm)
$101=250.000 (y, step/mm)
$102=250.000 (z, step/mm)
$110=500.000 (x max rate, mm/min)
$111=500.000 (y max rate, mm/min)
$112=500.000 (z max rate, mm/min)
$120=10.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=10.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=10.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=200.000 (x max travel, mm)
$131=200.000 (y max travel, mm)
$132=200.000 (z max travel, mm)
ok
```

At the bottom of the window, there are controls for "Autoscroll" (checked), "Ambos NL & CR" (dropdown), "115200 baudio" (dropdown), and "Clear output" (button).

Figura 48. Configuraciones generales de Grbl

Fuente: Investigador

Para modificar cualquier valor de las configuraciones se realiza de la siguiente manera:
 \$ (número que se desea configurar) = valor que se desea establecer. En la tabla 14 se detalla el significado de cada parámetro de configuración de Grbl.:

Tabla 14. Configuración de los parámetros de Grbl

Configuración	Descripción
\$0 = Pulso por paso	Sirve para configurar la longitud mínima de impulso de paso de los motores, lo más recomendable es tener un valor de alrededor de 10 microsegundos, que es el valor predeterminado.
\$1 = Demora de inactividad por pasos	Sirve para mantener habilitados los motores cuando estos no estén trabajando o hayan terminado de trabajar, esto sirve para que no exista pasos perdidos. Es recomendable configurar con un valor de 255
\$2 = Mascara invertida del puerto de pasos	Esta configuración invierte la señal de pulso por pasos, es un valor que almacena los ejes para invertir como indicadores de bits. Para el proyecto no se necesita modificar dicha configuración.
\$3 = Mascara invertida del puerto de dirección.	Esta configuración invierte la señal de dirección para cada eje, con el mismo funcionamiento de la configuración anterior. Es decir, invierte la dirección del eje.
\$4 = Habilita el paso de inversión	El pin de habilitación de paso a paso es alto para desactivar y bajo para habilitar.
\$5 = Pines de limite invertidos	Los pines de limite generalmente son altos con la resistencia interna de arduino. Para activar se utiliza \$5=1 y para desactivar es \$5=0.
\$6 = Punta de sonda invertida	El pin de la sonda generalmente es alto por la resistencia interna de arduino. Cuando el pin está bajo Grbl lo interpreta de como desencadenado. Para habilitar \$6=1 para deshabilitar \$6=0.
\$10 = Mascara de informe de estado	Para configurar los datos de informes que Grbl envíe, se envía 1=posición de la máquina, 2 posición de trabajo, 4 tampón del planificador, 8 RX Buffer, 16 = Limit Pins, si desea varios informes se suma los números de los informes que se desee imprimir.
\$11 = Desviación de la unión	La utiliza el administrador de aceleración para determinar qué tan rápido puede moverse a través de las uniones de segmentos de línea de una ruta de programa de código G.
\$12 = tolerancia de arco	Sirve para la renderización de los círculos, arcos y hélices. Es recomendable mantener el valor de 0.002 mm
\$13 = Informe pulgadas	Esta configuración proporciona al usuario retroalimentación sobre donde está la máquina en ese momento, por defecto la máquina se encuentra para informar en mm, pero si se requiere en pulgadas se envía el código \$13=1.

\$20 = límites suaves	Sirven para seguridad de que la máquina no se provoque colisiones, saliendo de los límites de trabajo. Los límites suaves requieren que se habilite la referencia y la configuración de recorrido máximo del eje preciso, porque Grbl necesita saber dónde está. \$20=1 para habilitar y \$20=0 deshabilitar.
\$21 = Límites duros	Utiliza interruptores físicos. Las patillas de límite se mantienen altas con una resistencia de pull-up interna, por lo que todo lo que tienes que hacer es conectar un interruptor normalmente abierto con el pin y la tierra y habilitar límites duros con \$21=1. (Desactivar con \$21=0.)
\$22 = ciclo de inicio	Se configuran en el punto más lejano en + x, + y, + z de cada eje. Al conectar los interruptores de límite con los pines de límite y masa, al igual que con los límites duros, y habilite el homing. El ciclo de homing de Grbl mueve primero el eje Z positivo para despejar el espacio de trabajo y luego mueve los ejes X e Y al mismo tiempo en la dirección positiva.
\$ 23 = Invertir la dirección de mascara del homing	Grbl supone que los interruptores de límite de homing están en la dirección positiva, es decir, se envía una configuración para invertir el movimiento de los ejes en el momento de homing
\$ 24 = alimentación de referencia	El ciclo de autovigilancia busca primero los interruptores de límite a una tasa de búsqueda más alta, y después de encontrarlos, se mueve a una velocidad de alimentación más lenta para llegar a la ubicación precisa del cero de la máquina. Se recomienda establecer en cualquier valor de velocidad que proporcione localización de máquina cero repetible y precisa.
\$ 25 - Búsqueda de inicio	Es la tasa de búsqueda del ciclo de referencia, o la velocidad a la que primero trata de encontrar los interruptores de límite. Se recomienda ajustar a la velocidad que llegue a los interruptores de límite en un tiempo suficientemente corto sin chocar con sus interruptores de límite si entran demasiado rápido.
\$ 26 - rebote de referencia	Los interruptores pueden tener un ruido eléctrico / mecánico que en realidad "rebota" la señal a niveles altos y bajos durante unos pocos milisegundos antes de instalarse. Para solucionar esto, debe atenuar la señal, ya sea por hardware con algún tipo de acondicionador de señal o por software con un pequeño retraso para dejar que la señal termine de rebotar. Se recomienda una velocidad de entre 5-25 ms.
\$ 27 - retirada de inicio	Ayuda a evitar la activación accidental del límite estricto después de un ciclo de inicio.
\$ 100, \$ 101 y \$ 102 - [X, Y, Z]	Para calcular los pasos / mm para un eje de la máquina, se necesita saber: <ul style="list-style-type: none"> • El recorrido en mm por revolución del motor paso a paso. Esto depende de los engranajes de transmisión por correa o del paso del tornillo de avance. • Los pasos completos por revolución de sus steppers.

	<ul style="list-style-type: none"> Los micro pasos por paso del controlador (generalmente 1, 2, 4, 8 o 16). <p>En donde: $\text{pasos/mm} = \frac{\text{recorrido en mm} * \text{pasos por revolucion}}{\text{micro pasos}}$</p>
\$ 110, \$ 111 y \$ 112 - [X, Y, Z] Velocidad máxima	Ingrese una configuración de 10-20% por debajo de este valor, para que pueda considerar el desgaste, la fricción y la masa de su pieza/herramienta. Esta configuración de velocidad máxima también establece las tasas de búsqueda G0.
120, \$ 121, \$ 122 - [X, Y, Z] Aceleración	Un valor inferior hace que Grbl se desacelere más lentamente en el movimiento, mientras que un valor más alto produce movimientos más ajustados y alcanza los avances deseados mucho más rápido. La forma más sencilla de determinar los valores para esta configuración es probar individualmente cada eje con valores que aumentan lentamente hasta que se detenga el motor. Finalizar la configuración de aceleración con un valor del 10-20% por debajo de este valor máximo absoluto.
130, \$ 131, \$ 132 - [X, Y, Z]	Esto establece el recorrido máximo de extremo a extremo para cada eje en mm. Esto solo es útil si tiene habilitados los límites suaves (y el inicio), ya que esto solo lo usa la función de límite suave de Grbl para verificar si ha excedido los límites de su máquina con un comando de movimiento.

Fuente: Investigador

4.5.9. Software para generación de código G.

Para la generación de código G que es interpretada por la máquina para realizar los movimientos de los ejes XYZ, existen varios softwares CAD/CAM para realizar el proceso de generación.

Partiendo de un diseño realizado en software CAD que significa Diseño Asistido por Computadora, lo que permite crear archivos con extensiones .dxf, .dwg, .svg, etc. Son extensiones utilizadas para generar planos en dos dimensiones. En la figura 49 se visualiza el entorno gráfico de CorelDraw, que es un software de tipo CAD, utilizado para el desarrollo de diseños para el mecanizado de piezas.

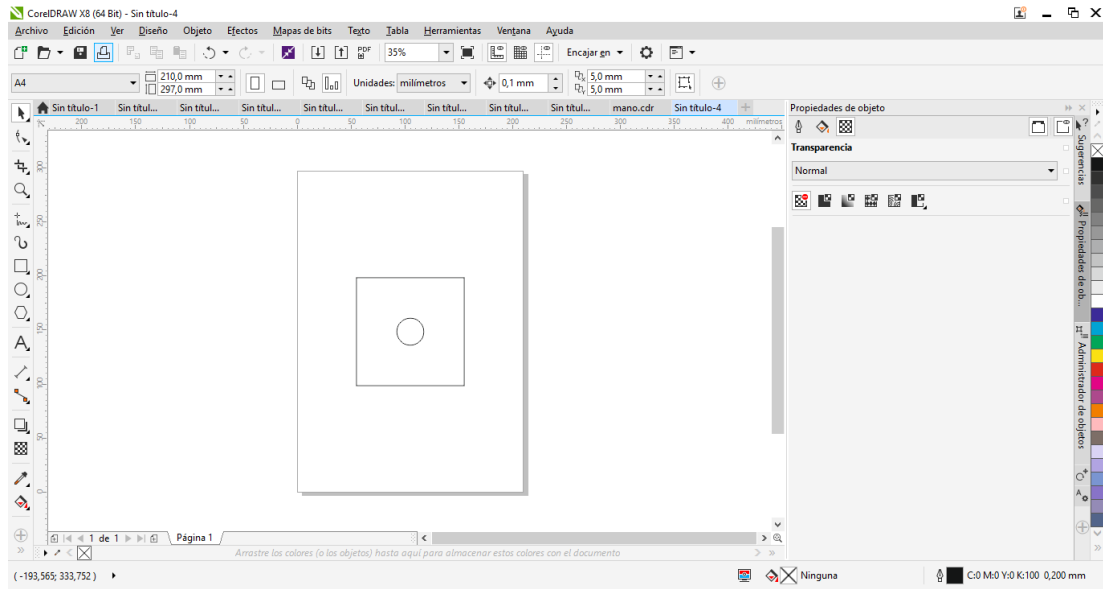


Figura 49. Entorno gráfico de CorelDraw.

Fuente: Investigador

Una vez realizado el diseño que se desea mecanizar se guarda el archivo en formato .dxf en cualquier software CAD, se procede a utilizar un tipo de software CAM que significa Fabricación Asistida por Computadora, lo que permite el control de máquinas de forma numérica generando archivos con extensiones .CNC, .NC, NGC, .Gcode, etc. Con la finalidad de tener el control de las herramientas a ocupar en máquinas como fresadoras, Router, plasma, corte por agua, corte laser, oxicorte, etc.

El software SheetCam es de uso gratuito y trabaja de forma exclusiva para máquinas CNC con respecto a la generación de códigos G, incorporando configuraciones para diferentes herramientas de corte como por ejemplo plasma, oxicorte, corte por agua, laser. Por lo tanto, dicho software lo hace idóneo para la utilización en el sistema propuesto. En la figura 50 se puede visualizar el entorno gráfico del programa.

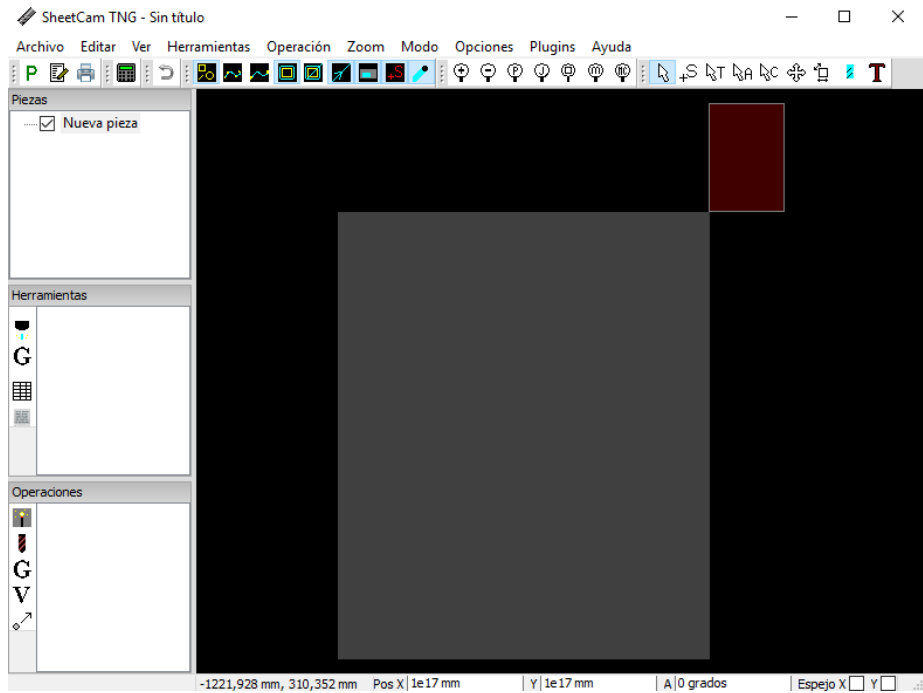


Figura 50. Entorno Grafico de Software SheetCam

Fuente: Investigador

En la figura 51 se visualiza la configuración para la herramienta a utilizar en este caso plasma.

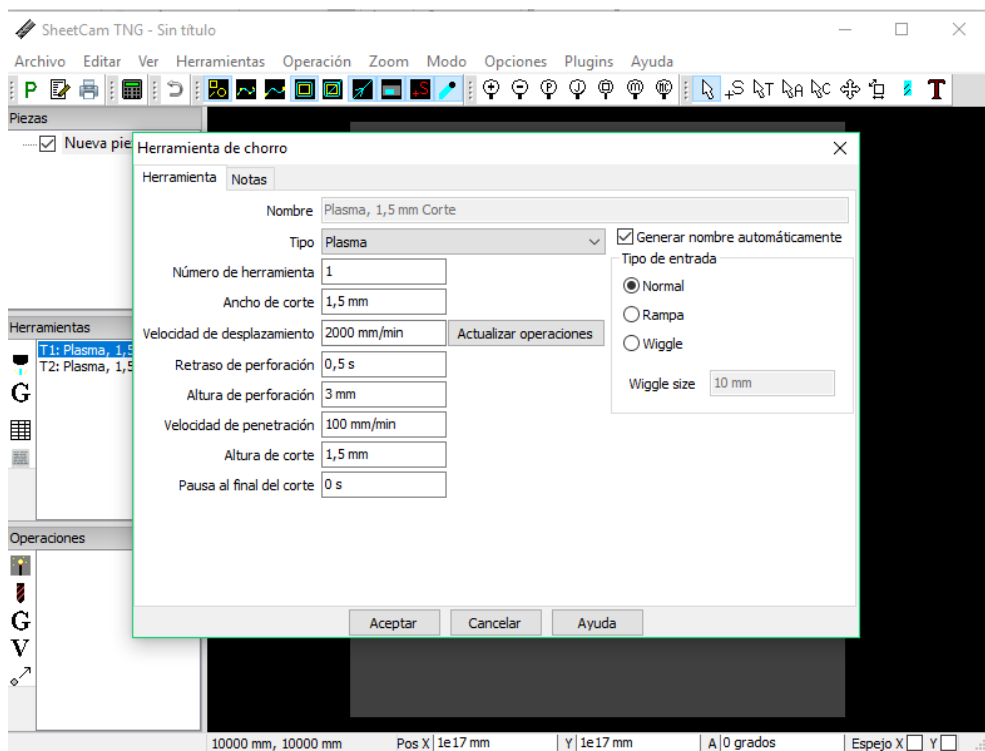


Figura 51. Configuración de la pieza de trabajo.

Fuente: Investigador

Una vez configurado todos los parámetros en el software se procede a importar el archivo en formato .dxf para realizar la generación del archivo en formato .Gcode para su posterior trabajo en la máquina. En la figura 52 se observa la visualización del archivo en el software SheetCam.

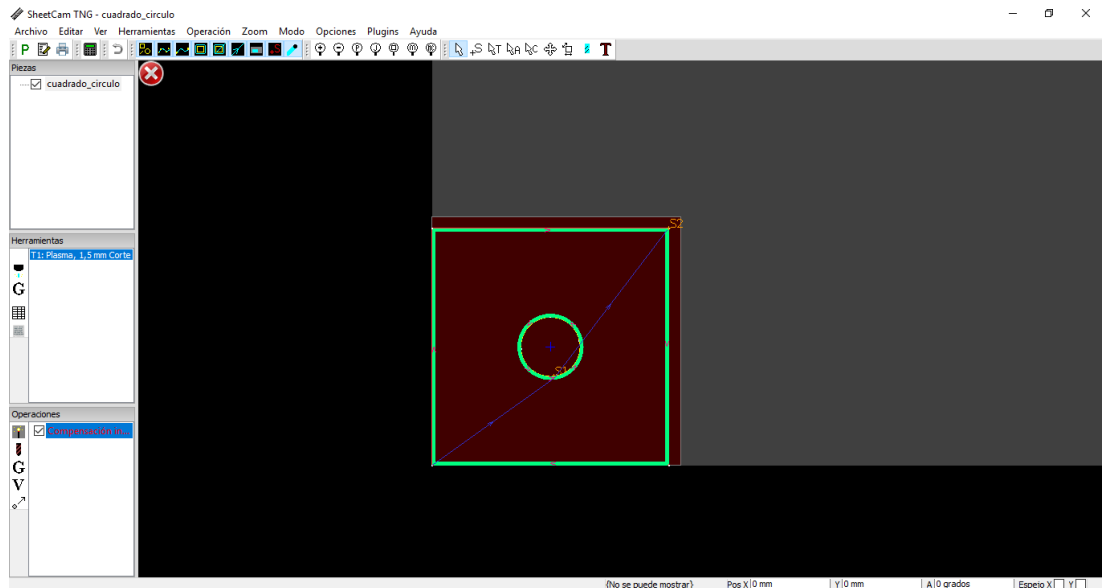


Figura 52. Visualización del archivo en el software SheetCam

Fuente: Investigador

4.5.10. Introducción al software de control bCNC.

El software bCNC es un potente controlador de máquinas CNC que permite la manipulación del sistema de forma sencilla, es compatible para sistemas operativos como Windows, Mac, Linux, por lo que es factible ocupar en un mini ordenador Raspberry Pi 3. El firmware GRBL subido a la placa arduino UNO, para el control de la máquina, tiene la ventaja de ser compatible con el software bCNC. Las principales características del software son las siguientes:

- Cuenta con una interfaz sencilla y fácil de utilizar.
- Tiene la capacidad de soportar archivos con extensiones .gcode y .dxf.
- Permite la visualización de los archivos.
- Desplazamiento y posicionamiento de los ejes.
- Evaluación, visualización y edición de archivos .gcode.
- Variedad de herramientas para trabajo.

- Cuenta con un servidor web para el control y monitoreo desde cualquier dispositivo conectado a la red.

En la figura 53 se puede apreciar la interfaz gráfica del software bCNC.

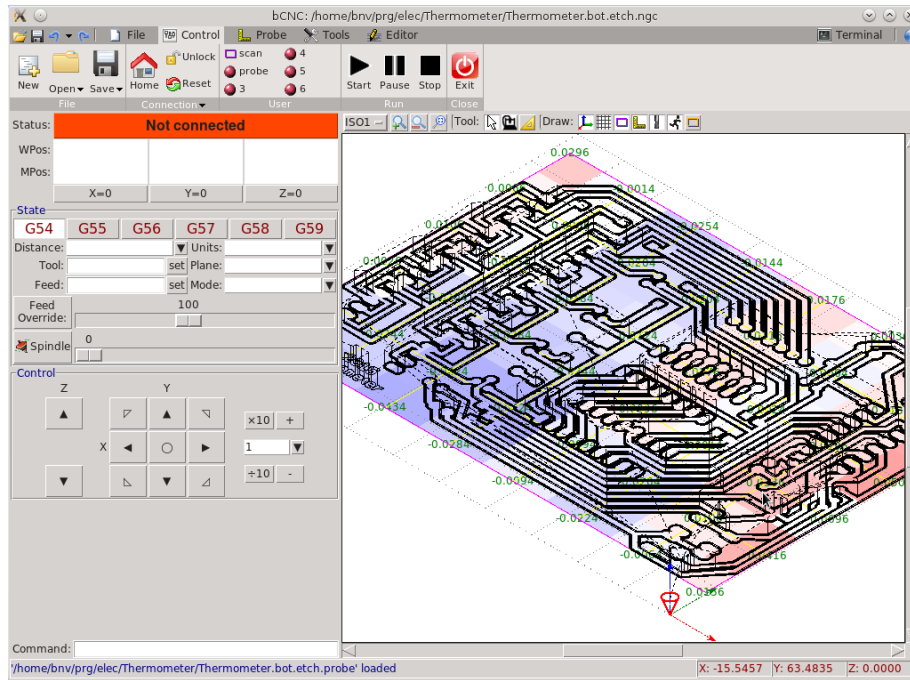


Figura 53. Interfaz Gráfica software bCNC

Fuente: Investigador

4.6. Implementación del sistema

Para la implementación del sistema y después de haber definido todos los elementos tanto de hardware como de software, se procede a realizar el ensamblaje de las piezas tanto mecánicas como electrónicas para después realizar las calibraciones y pruebas de la máquina. El presente proyecto se divide en tres sistemas, para una mejor comprensión, los cuales se detallan de la siguiente manera:

- Sistema Mecánico
- Sistema de Control
- Sistema Electrónico

4.6.1. Sistema Mecánico

El sistema mecánico es la parte fundamental y de gran precisión para este tipo de robot cartesiano, debido a que debe estar completamente nivelado en todos sus ejes.

La estructura que conforma la mesa de corte y sus ejes corresponden a dicho sistema en el cual todo debe ser preciso y perfectamente alineado para un rendimiento óptimo de la máquina.

En la estructura mecánica se encuentran las bases para los motores paso a paso, las barras de guía para la transmisión de los ejes, la mesa de corte para el soporte del material a mecanizar, en la figura 54 se puede visualizar cada uno de los elementos que corresponden al sistema mecánico.

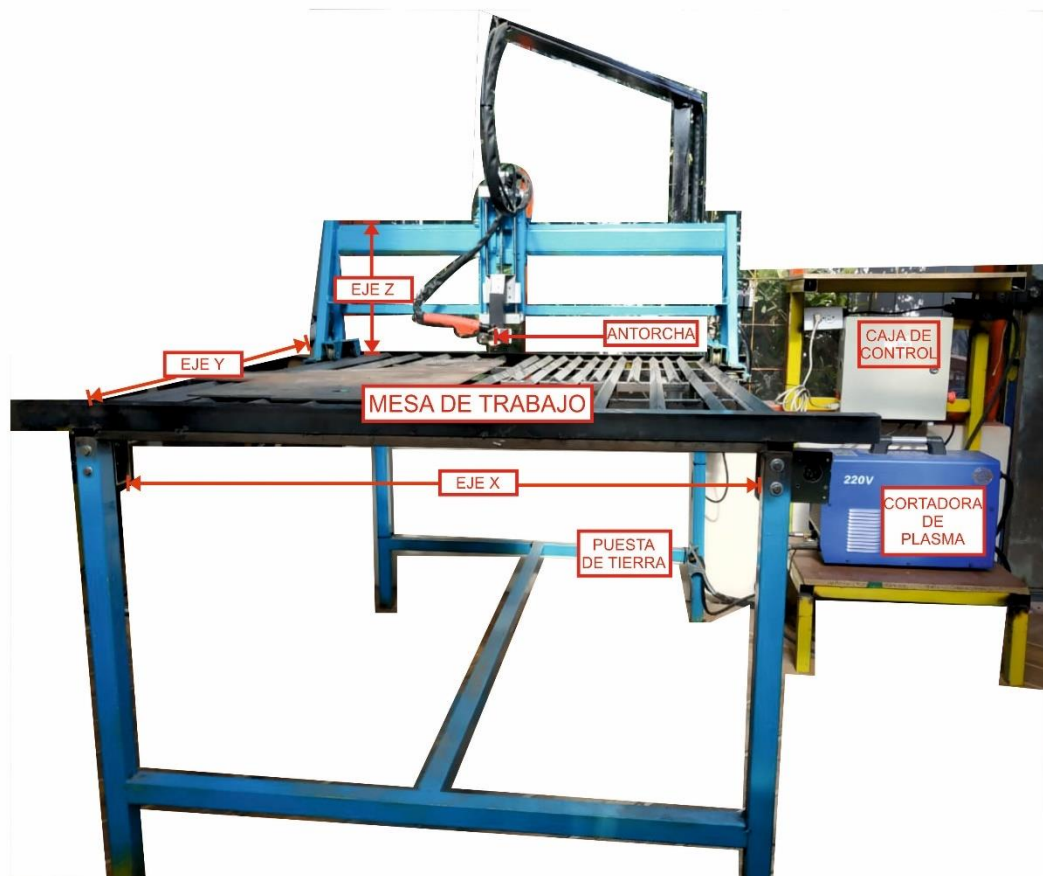


Figura 54. Sistema Mecánico del sistema automatizado

Fuente: Investigador

4.6.2. Sistema de Control

Para el sistema de control se optó por trabajar con el software bCNC, dicho software es libre y se lo puede descargar de forma gratuita, permitiendo modificar cualquier opción o parámetro dentro del programa. El software se procede a instalar en el

ordenador Raspberry PI. Para la implementación del presente proyecto se realizó varias modificaciones del software para acoplarse a las necesidades requeridas.

En la banda de opciones cuenta con cinco menús: file, control, probe, tools y editor, en donde se derivan varias opciones para el control del software. Iniciando por la opción file en donde se encuentran las opciones para crear, abrir y guardar archivos a mecanizar, además cuenta con opciones del puerto serial en donde se selecciona las opciones adecuadas para tener una conexión con el arduino, muestra una pantalla principal del área de trabajo y una de las opciones más importantes es la herramienta colgante (pendant) la cual permite ejecutar el servidor para su control desde cualquier ordenador ubicado en la misma red. En la figura 55 se visualiza el panel de la opción file del software bCNC.

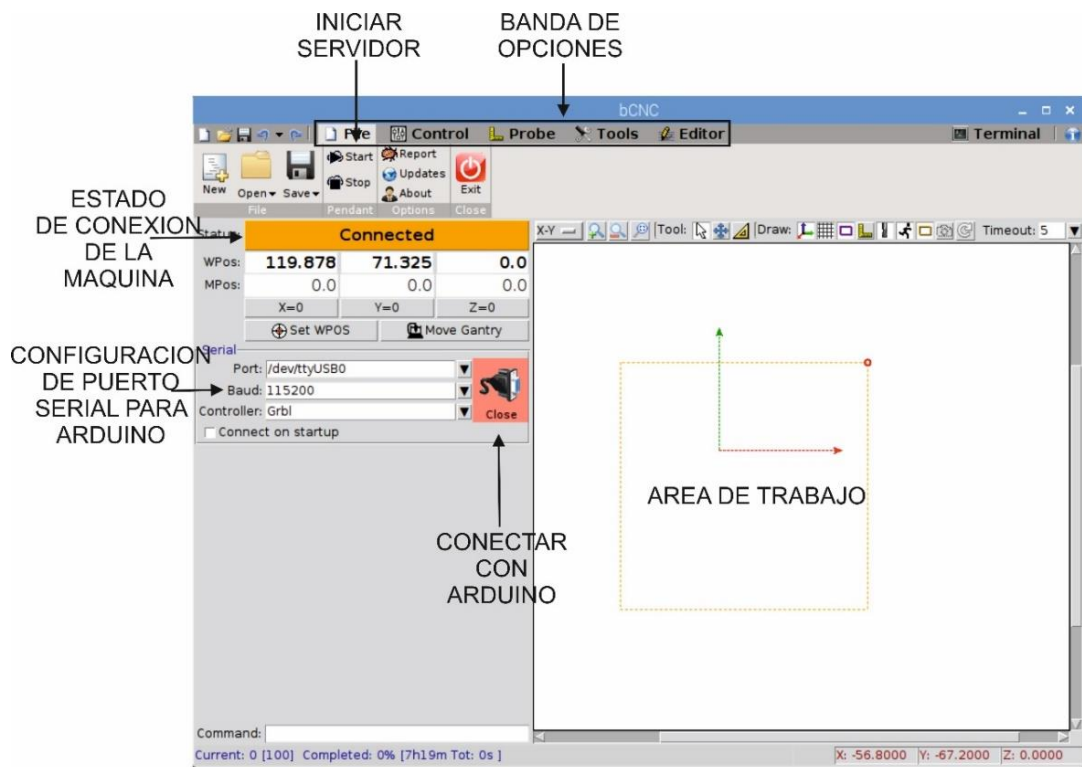


Figura 55. Software bCNC pantalla principal

Fuente: Investigador.

En la opción control se encuentra las opciones de control de la máquina, es decir para el desplazamiento de los ejes XYZ, además de contar con el panel run en el cual se visualiza las opciones Start, Pause, Stop; que sirven para iniciar el mecanizado de

piezas una vez subido el archivo al software. En la figura 56 se puede observar el panel de la opción control.

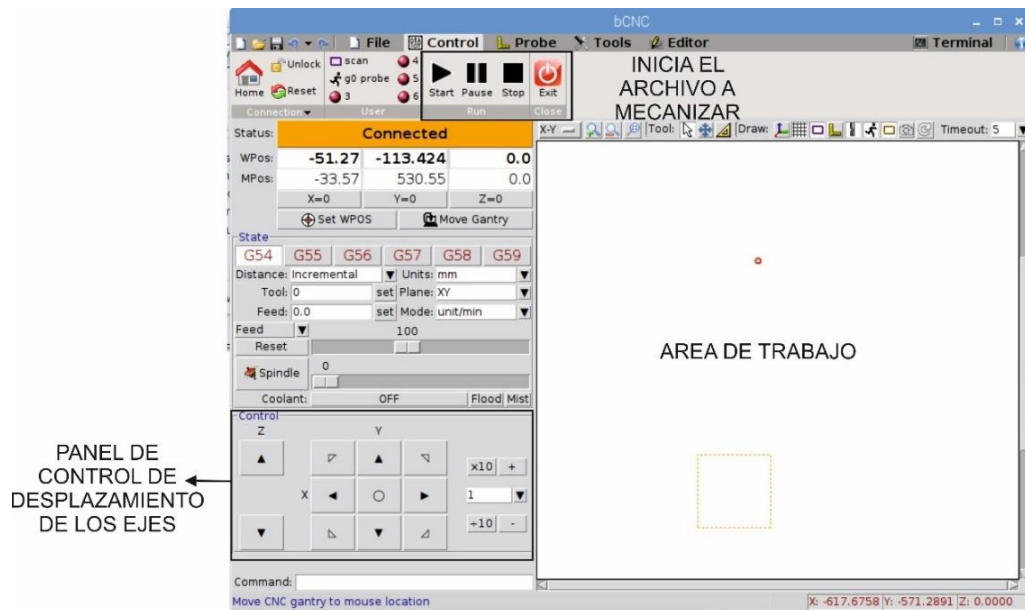


Figura 56. Software bCNC pantalla de control

Fuente: Investigador.

En la opción Tools se encuentra las opciones de cambiar de herramientas o configurar una herramienta nueva, además de contar con la opción de Controller en donde se realiza la configuración de GRBL, de una manera más practica en la figura 57 se visualiza la configuración de GRBL para el sistema.

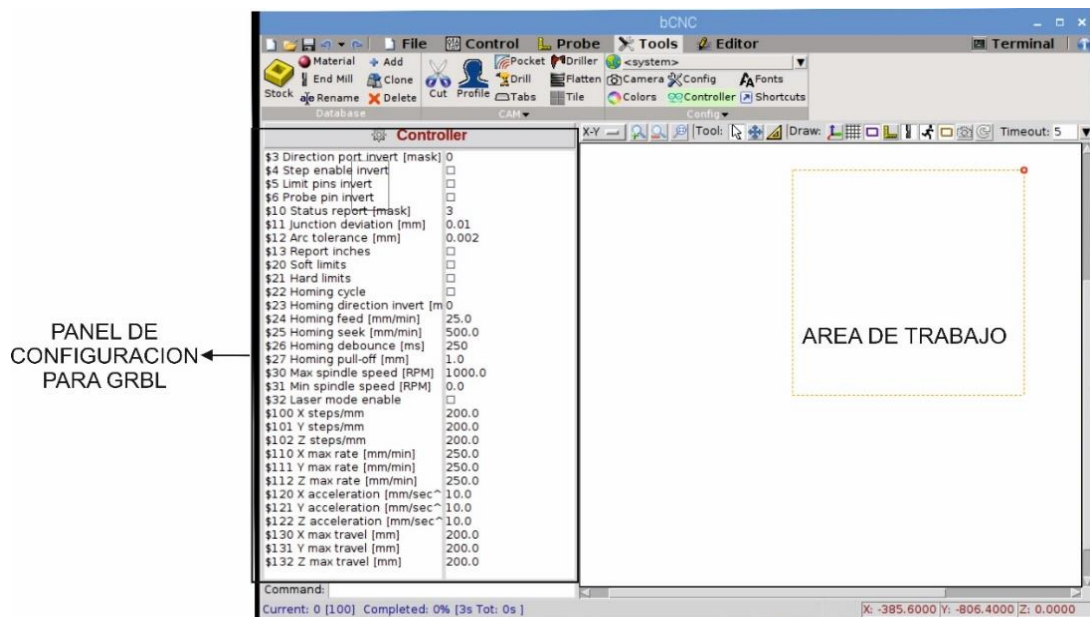


Figura 57. Software bCNC pantalla de configuración de GRBL

Fuente: Investigador.

La opción Editor como su nombre lo dice sirve para editar los archivos subidos en formato .gcode, en donde se tiene opciones que permite realizar cualquier variante al código generado anteriormente por software CAM, en la figura 58 se puede observar el panel de edición.

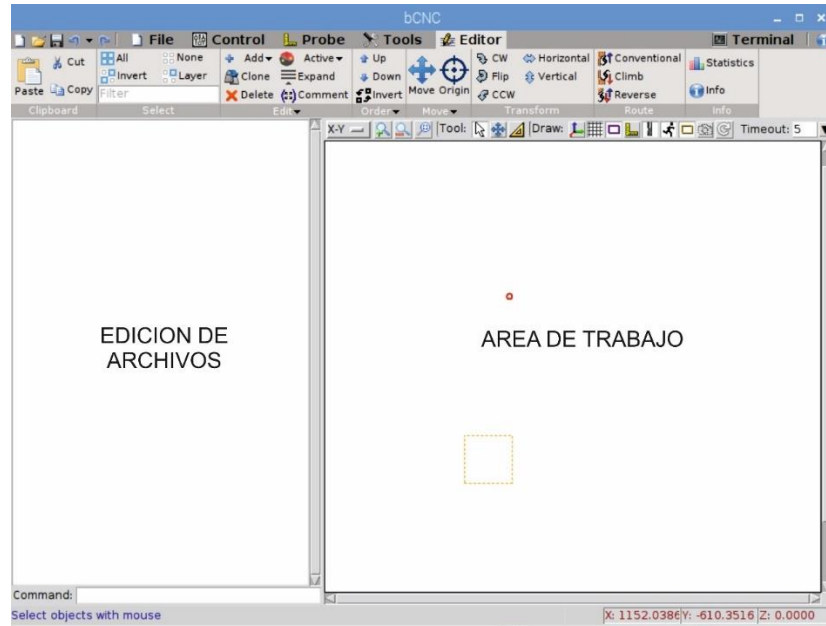


Figura 58. Software bCNC pantalla de edición de archivos .gcode.

Fuente: Investigador.

La empresa cuenta con una red local a la cual el ordenador Raspberry PI3 se encuentra conectado y se configuro para asignarle una dirección IP estática, primero accediendo a una consola de comandos en el ordenador e identificándose como usuario root, para acceder a toda la configuración del ordenador, seguido se introduce el siguiente comando `sudo nano /etc/dhcpd.conf` como se observa en la imagen 59.

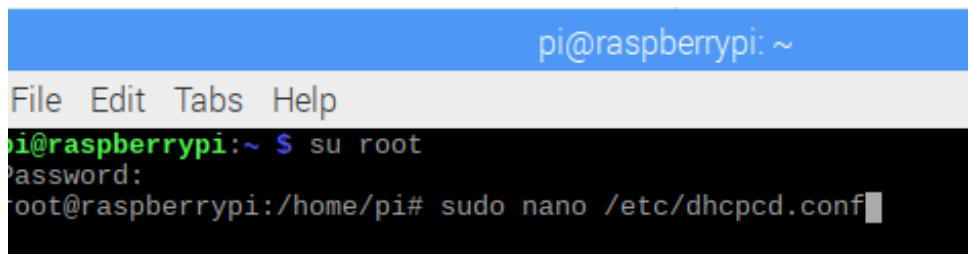
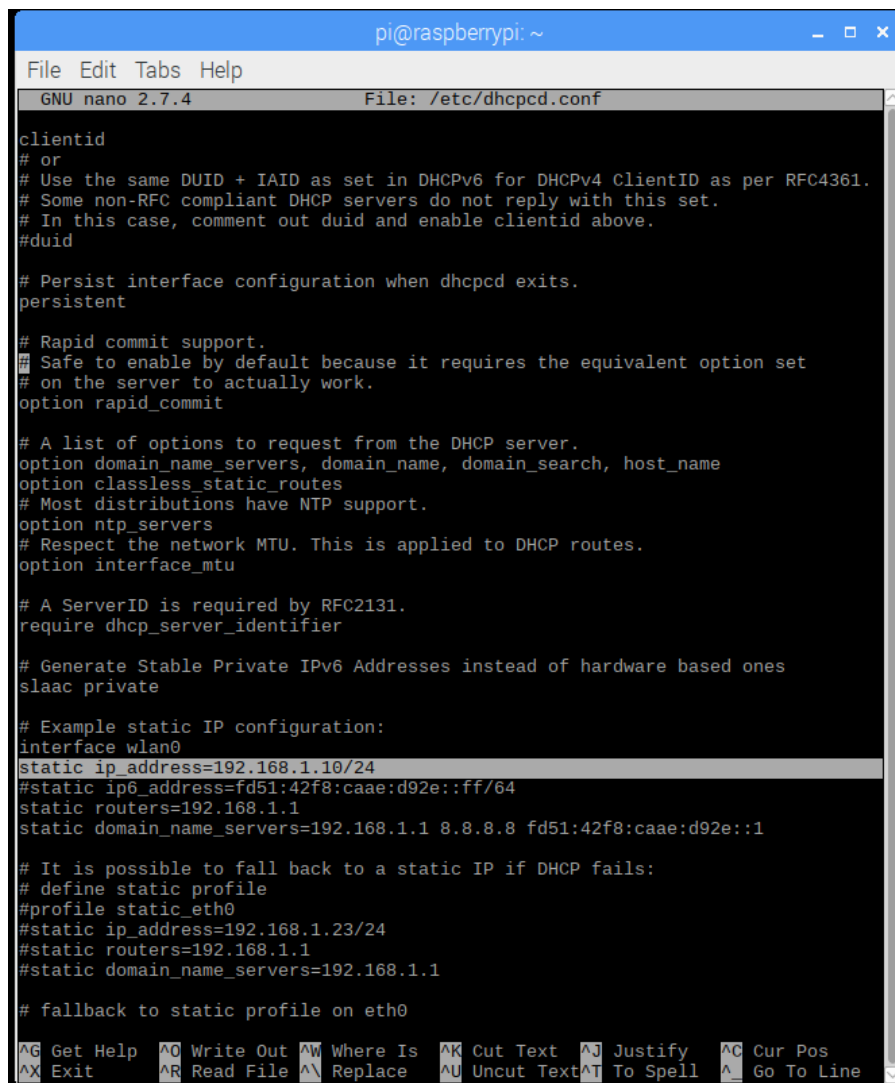


Figura 59. Ingresando a configuración para IP estática

Fuente: Investigador.

En la figura 60 se visualiza la configuración y asignación de la IP estática al ordenador Raspberry PI en este caso se asignó la IP 192.168.1.10, se asigna una IP fija al

ordenador debido a que los dispositivos se conectan a la red mediante una IP asignada dinámicamente proporcionada por el DHCP, es decir cada vez que un dispositivo se conecta a la red se le asigna una dirección IP aleatoria dentro de un rango de direcciones, en este caso el router trabaja como DHCP. Como el ordenador es un dispositivo que queda instalado para uso exclusivo de la cortadora por plasma en la empresa, es el motivo por el cual se debe asignar un IP fija, para acceder al control del sistema desde cualquier dispositivo conectado a la red.



```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
GNU nano 2.7.4 File: /etc/dhcpd.conf

clientid
# or
# Use the same DUID + IAID as set in DHCPv6 for DHCPv4 ClientID as per RFC4361.
# Some non-RFC compliant DHCP servers do not reply with this set.
# In this case, comment out duid and enable clientid above.
#duid

# Persist interface configuration when dhcpd exits.
persistent

# Rapid commit support.
# Safe to enable by default because it requires the equivalent option set
# on the server to actually work.
option rapid_commit

# A list of options to request from the DHCP server.
option domain_name_servers, domain_name, domain_search, host_name
option classless_static_routes
# Most distributions have NTP support.
option ntp_servers
# Respect the network MTU. This is applied to DHCP routes.
option interface_mtu

# A ServerID is required by RFC2131.
require dhcp_server_identifier

# Generate Stable Private IPv6 Addresses instead of hardware based ones
slaac private

# Example static IP configuration:
interface wlan0
static ip_address=192.168.1.10/24
#static ip6_address=fd51:42f8:caae:d92e::ff/64
static routers=192.168.1.1
static domain_name_servers=192.168.1.1 8.8.8.8 fd51:42f8:caae:d92e::1

# It is possible to fall back to a static IP if DHCP fails:
# define static profile
#profile static_eth0
#static ip_address=192.168.1.23/24
#static routers=192.168.1.1
#static domain_name_servers=192.168.1.1

# fallback to static profile on eth0

^G Get Help ^O Write Out ^W Where Is ^K Cut Text ^J Justify ^C Cur Pos
^X Exit ^R Read File ^\ Replace ^U Uncut Text ^T To Spell ^_ Go To Line
```

Figura 60. Asignación de IP estática a ordenador Raspberry PI

Fuente: Investigador.

Con el comando `ifconfig` se puede visualizar la dirección IP configurada en el ordenador como se observa en la imagen 61.

```
File Edit Tabs Help
root@raspberrypi:/home/pi# ifconfig
eth0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether b8:27:eb:72:8a:c1 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

wlan0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.1.10 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
    inet6 2800:370:70:3120:4b44:462:57ab:6e3f prefixlen 64 scopeid 0x0<global>

bal>
    inet6 fe80::38cd:2b62:67f9:b63 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether b8:27:eb:27:df:94 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 344 bytes 34593 (33.7 KiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 215 bytes 30262 (29.5 KiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@raspberrypi:/home/pi#
```

Figura 61. Dirección IP del ordenador Raspberry PI

Fuente: Investigador.

El software bCNC que se encuentra instalado en el ordenador Raspberry PI3 dispone de una característica colgante que consiste en una página web ejecutada en segundo plano, en el anexo C se encuentra la programación de la página la cual ha sido modificada para acoplarse con el sistema de corte por plasma. Para activar el servidor se procede a abrir el programa bCNC en la opción File, en la pestaña Pendant, y seleccionando la opción Start, en la figura 62 se puede visualizar la opción de activar esta función, seguido de un cuadro de notificación confirmando la activación del servicio e indicando la dirección IP y el puerto por el cual se accede al control de la máquina.

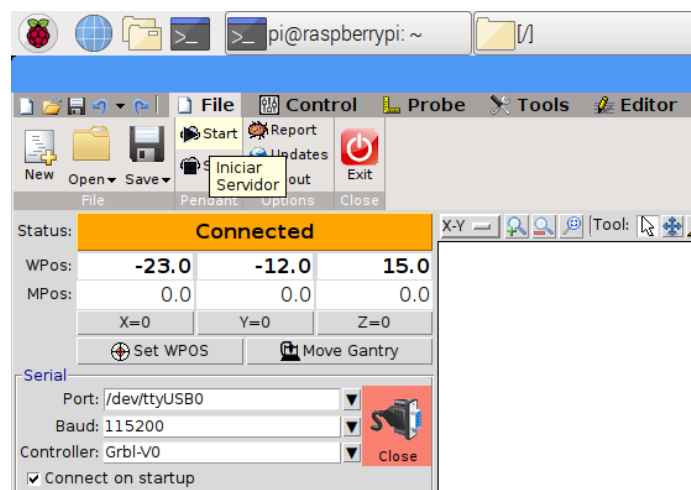


Figura 62. Iniciar el servidor

Fuente: Investigador.

El servidor se levanta de esta manera para tener el control y monitoreo del sistema desde cualquier ordenador ubicado en la misma red de la empresa en donde se pueden realizar varias acciones como el control de movimiento de los ejes X,Y,Z de la máquina, activación y desactivación de la antorcha, cargar archivos para realizar mecanizado y mensajes de información de la máquina. Para acceder al control de la máquina desde otro dispositivo primero se debe estar conectado en la misma red de la empresa, después se procede a abrir un navegador web con la siguiente dirección <http://192.168.1.10:8080>, como se observa en la figura 63. En donde se encuentran las opciones de coordenadas permitiendo el desplazamiento de los ejes X,Y,Z además de incorporar una opción la cual sirve para setear o encerrar la posición de la máquina, e igual manera cuenta con un panel de comandos en donde se puede enviar comandos en lenguaje G o M, una opción para subir los archivos que se desea mecanizar y opciones de inicio, desbloqueo, reset, que prácticamente son opciones para control general de la máquina.

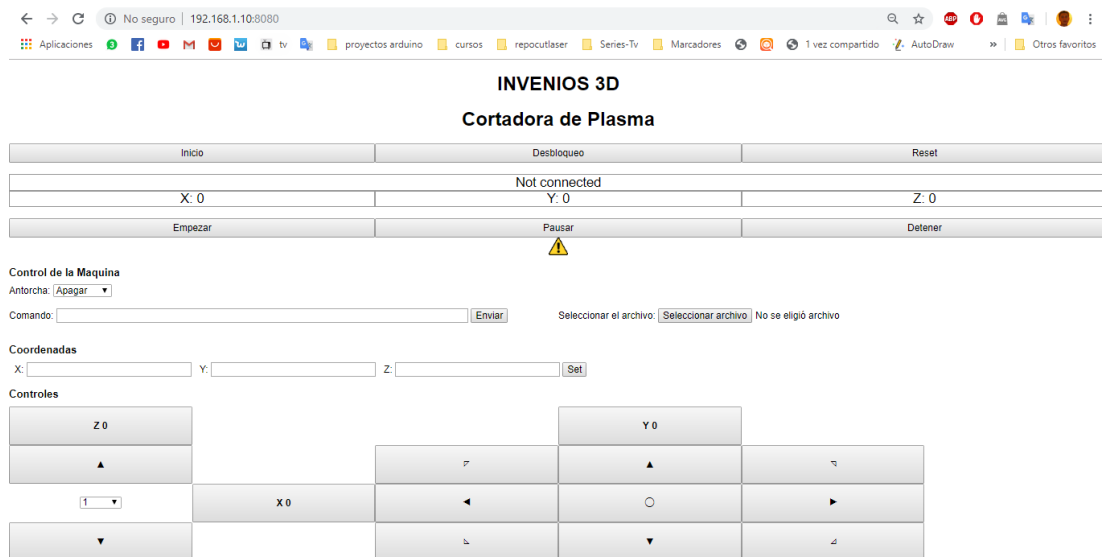


Figura 63. Página web de control para la máquina de corte por plasma

Fuente: Investigador.

Para proceder a realizar mecanizados de piezas se debe cargar archivos en formato .gcode, anteriormente creados en software CAD y procesado por software CAM. De esta manera se logra tener un control y monitoreo del sistema desde cualquier ordenador conectado a la red de la empresa.

4.6.3. Sistema Electrónico

Con la selección de los elementos y componentes electrónicos se procede a realizar las conexiones respectivas para el control de la máquina como se observa en la figura 64.

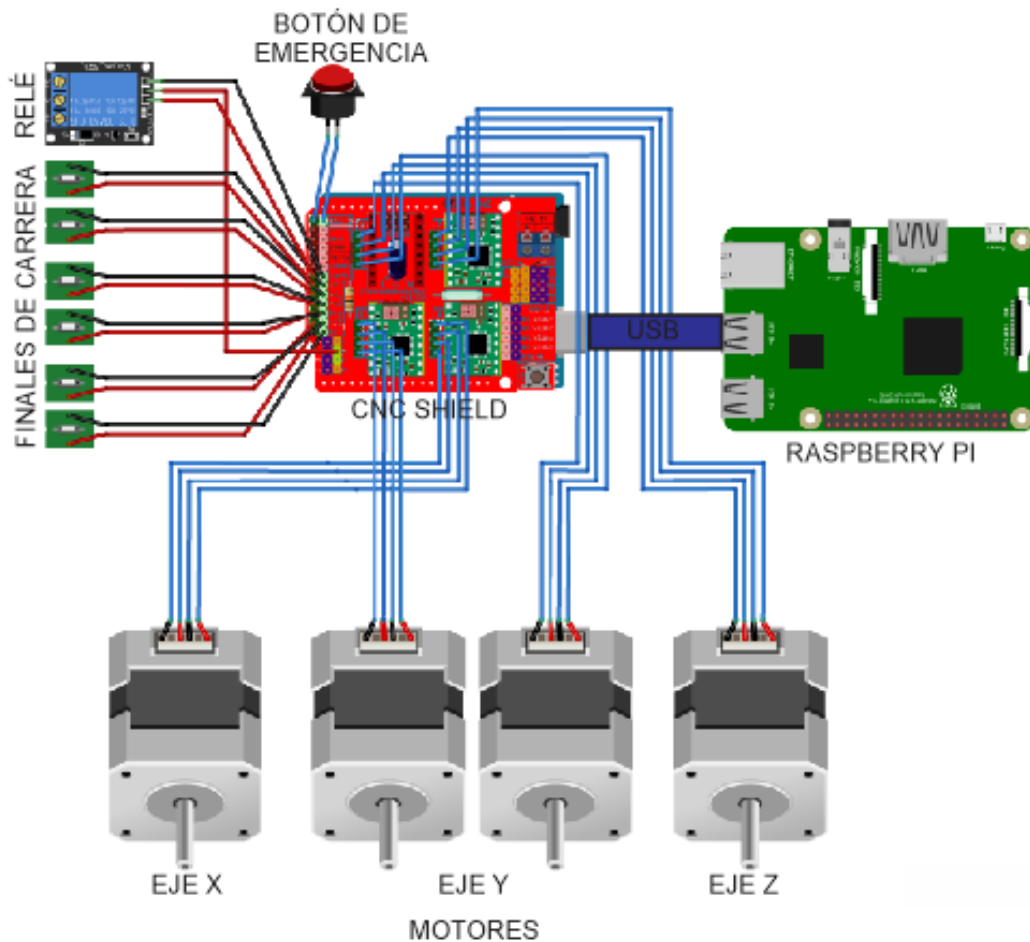


Figura 64. Diagrama de conexión de los elementos electrónicos del sistema

Fuente: Investigador.

El ordenador Raspberry Pi3 es el encargado de alojar el sistema operativo con el cual se administra, controla y manipula la máquina. El software bCNC es el cual controla la máquina de forma manual y a su vez realiza la función de servidor para el control desde cualquier ordenador conectado a la misma red.

Los motores se conectan a los drivers ubicados en la tarjeta Shield CNC de arduino y que este a su vez se conecta a la tarjeta Raspberry Pi3 permitiendo la comunicación, por medio de un cable USB AB. Además, en la tarjeta se conecta un relé el cual realiza la función de activación y desactivación de la antorcha permitiendo de esta manera

realizar el mecanizado de las piezas. En la figura 65 se observa cada uno de los elementos de forma física.

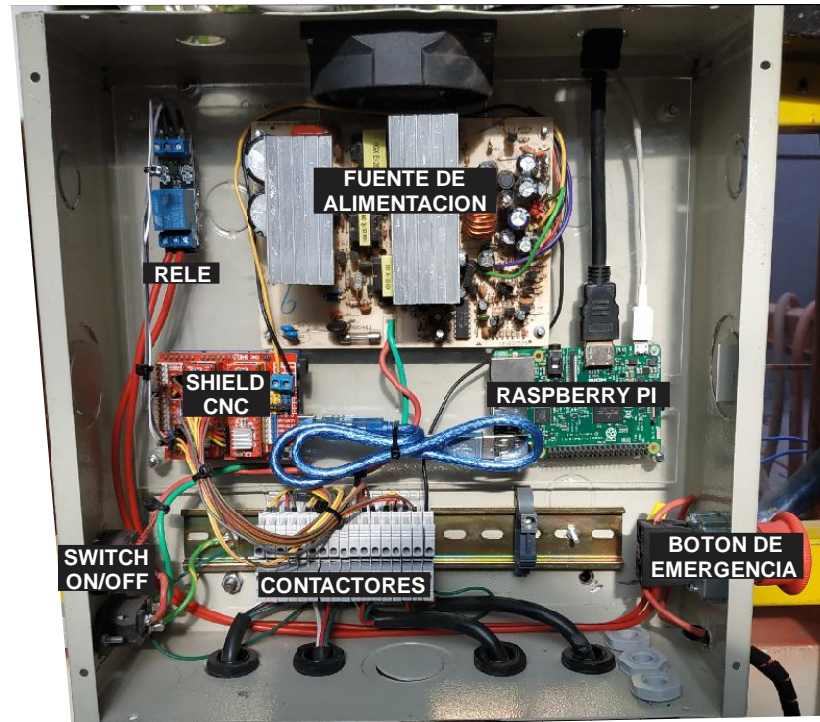


Figura 65. Diagrama de conexión de los elementos electrónicos del sistema de forma física

Fuente: Investigador.

Para determinar los puntos finales de cada eje se colocan finales de carrera que envían los datos por medio de la Shield CNC hasta el ordenador. Dando así una seguridad para que no exista colisiones de los mecanismos.

En la figura 66 se visualiza el diagrama de bloques de funcionamiento del sistema automatizado de corte por plasma.

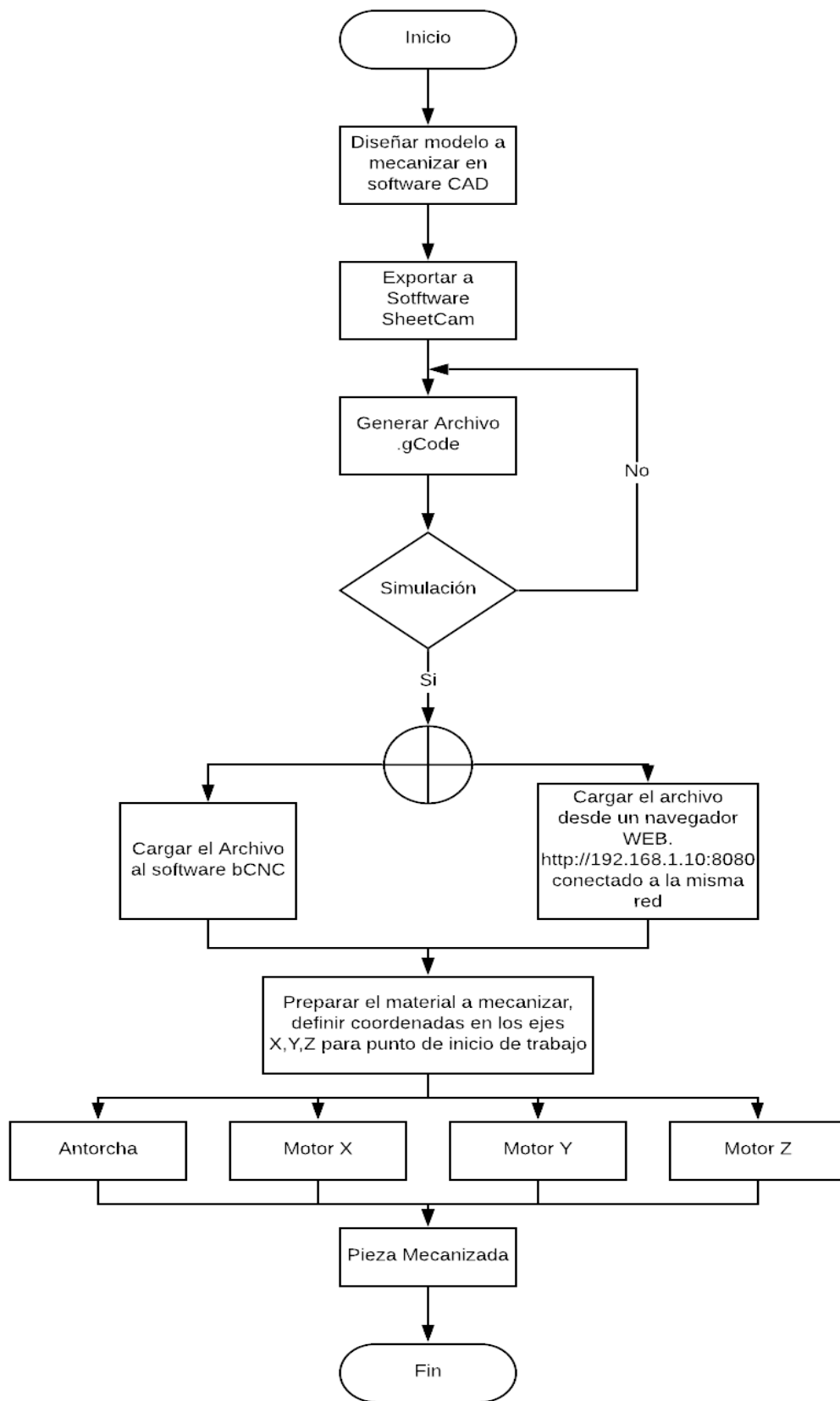


Figura 66. Diagrama de flujo del sistema

Fuente: Investigador.

En la figura 67 se visualiza el sistema implementado en la empresa Invenios3D.



Figura 67. Sistema implementado en la empresa Invenios 3D

Fuente: Investigador.

4.7. Pruebas de funcionamiento

El proceso para las pruebas de funcionamiento se lo realizo tomando en cuenta puntos importantes como el desplazamiento de los ejes, la activación y desactivación de la antorcha, pruebas de mecanizado.

4.7.1. Desplazamiento de los ejes

La prueba de funcionamiento del desplazamiento del eje X se realizó haciendo una trayectoria horizontal partiendo desde la esquina superior derecha de la máquina, en la figura 68 se visualiza el punto de partida, hasta la esquina superior izquierda, en la figura 69 se puede observar el punto final de la trayectoria horizontal dando un desplazamiento total de 750 [mm], que corresponde a un área deseada en el eje X según los requerimientos presentados.



Figura 68. Punto de inicio esquina superior derecha

Fuente: Investigador.

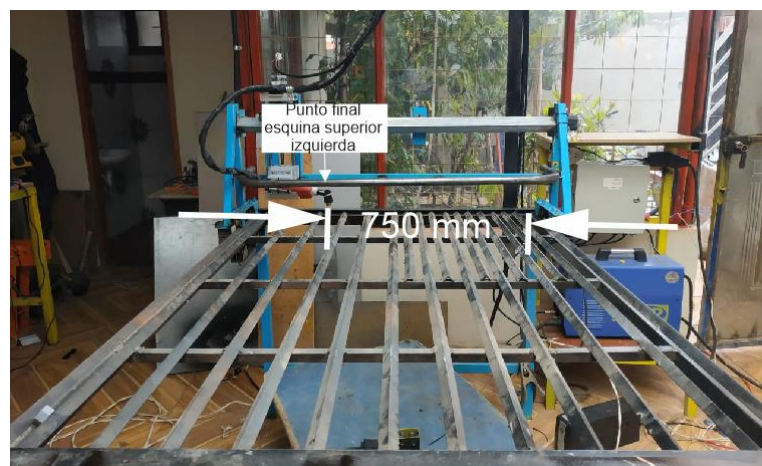


Figura 69. Punto de inicio y final esquina superior izquierda

Fuente: Investigador.

Para el desplazamiento en el eje Y de igual manera se procede a fijar un punto de inicio en la esquina superior izquierda como se muestra en la imagen 70, y con trayectoria horizontal hasta llegar a un punto final, en la esquina inferior izquierda, como se visualiza en la imagen 71, dando un recorrido de 1300 [mm] el cual es aceptable según los requerimientos.

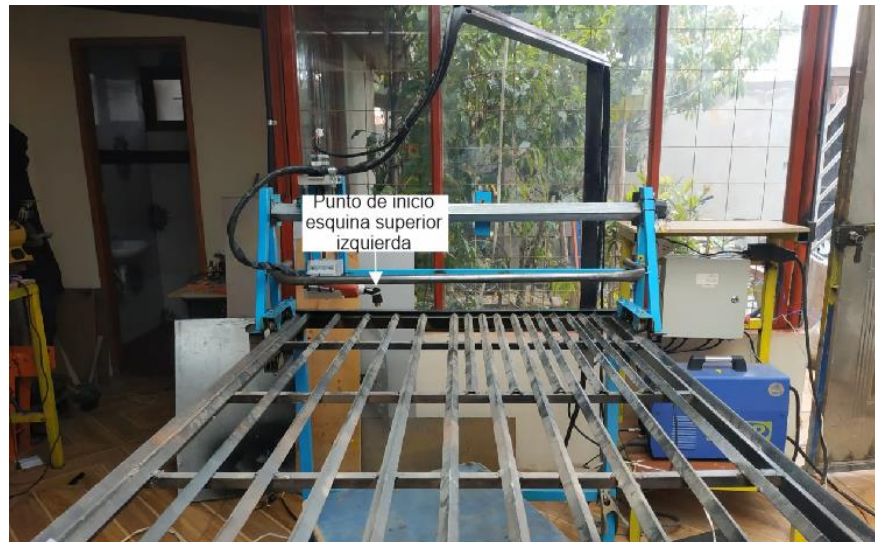


Figura 70. Punto de inicio esquina superior derecha

Fuente: Investigador.



Figura 71. Punto final esquina inferior izquierda

Fuente: Investigador.

4.7.2. Encendido y apagado de la antorcha

Para el funcionamiento de la antorcha se envía datos en lenguaje M con el código M08 para desactivación y M09 para su posterior activación. Por medio del software bCNC se logra realizar la activación y desactivación de la antorcha a través de la opción Antorcha, que se encuentra en la pestaña de Control del software. En la imagen 72 se puede observar la opción de activar y desactivar la antorcha.

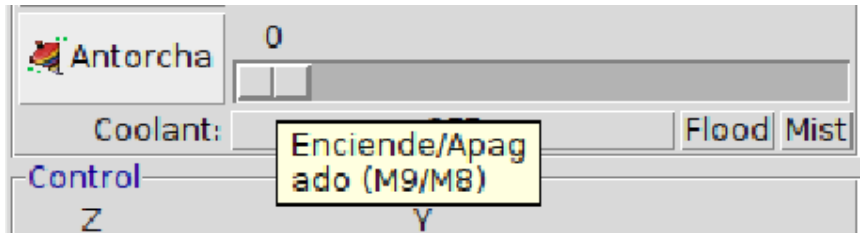


Figura 72. Opción de la Antorcha en el software bCNC

Fuente: Investigador.

Para realizar la prueba de funcionamiento de la antorcha desde el servidor, primero se debe acceder desde un navegador web ejecutado por un dispositivo conectado a la red de la empresa ingresando la IP: 192.168.1.10: 8080, en donde se puede visualizar la opción de Antorcha la cual cuenta con las opciones de Encender y Apagar la antorcha como se visualiza en la imagen 73.

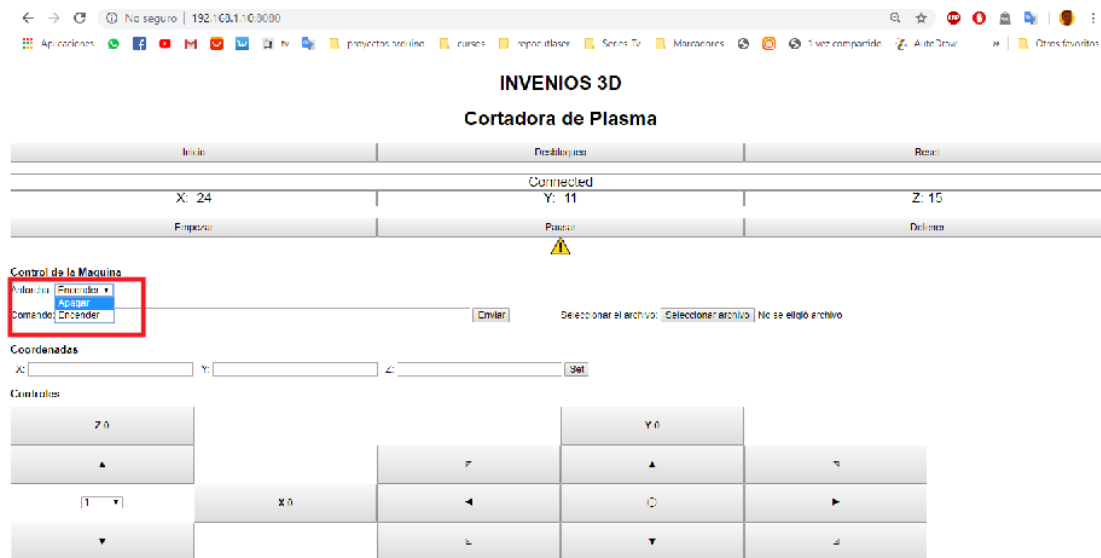


Figura 73. Opción encender y apagar de la antorcha desde servidor.

Fuente: Investigador.

4.7.3. Pruebas de mecanizado

Para iniciar el proceso de mecanizado primero se debe comprobar que los archivos se encuentren óptimos para ser utilizados en la máquina, para lo cual los archivos ya han pasado un proceso por medio de software CAD/CAM. Para este proceso se realizó el diseño de un cuadrado con dimensiones de 50 x 50 [mm]. En la figura 74 se puede visualizar el cuadrado en el software SheetCam para proceder a generar el archivo en formato .tap, que tiene las mismas características de los archivos en formato .gcode.

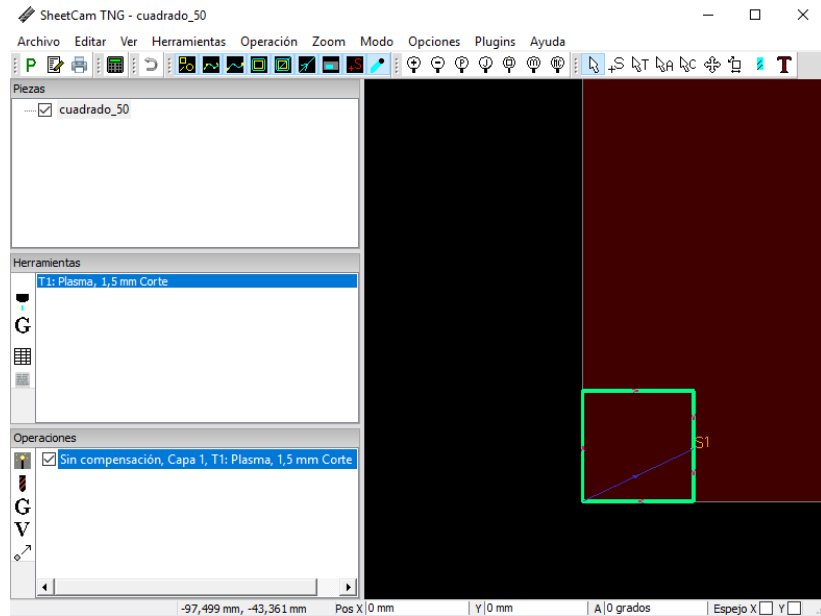


Figura 74. Software SheetCam con diseño de cuadrado de 50x50

Fuente: Investigador.

En la figura 75 se selecciona la herramienta con la cual se trabaja en este caso es de tipo plasma.

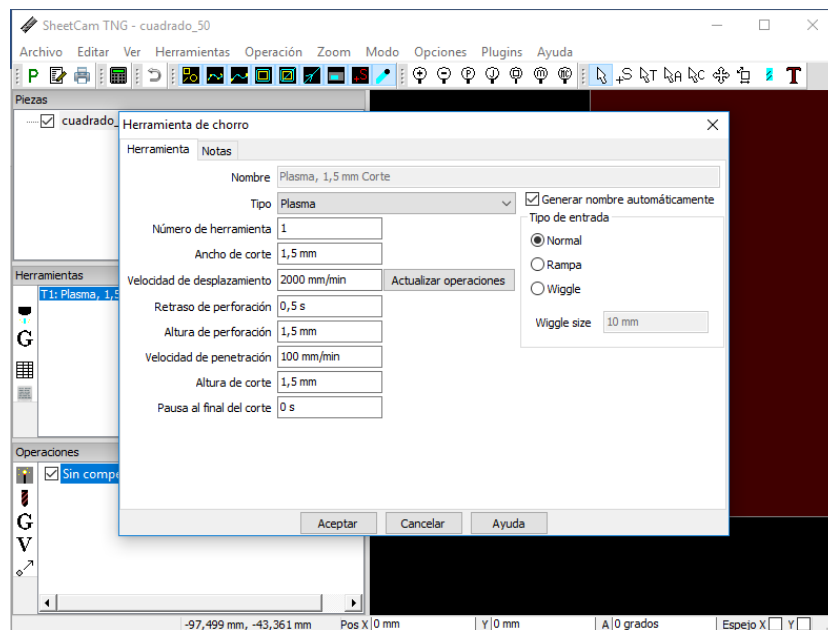


Figura 75. Selección de herramienta de corte en el software SheetCam

Fuente: Investigador.

En la figura 76 se seleccionó las operaciones a realizar, el método de compensación se realizó con compensación exterior debido al arco de corte que se produce, la velocidad de desplazamiento corresponde a la velocidad con la que se trabaja para el corte, esta velocidad se modifica para las pruebas que se realizaron, en la tabla 15 se encuentran las velocidades de las pruebas.

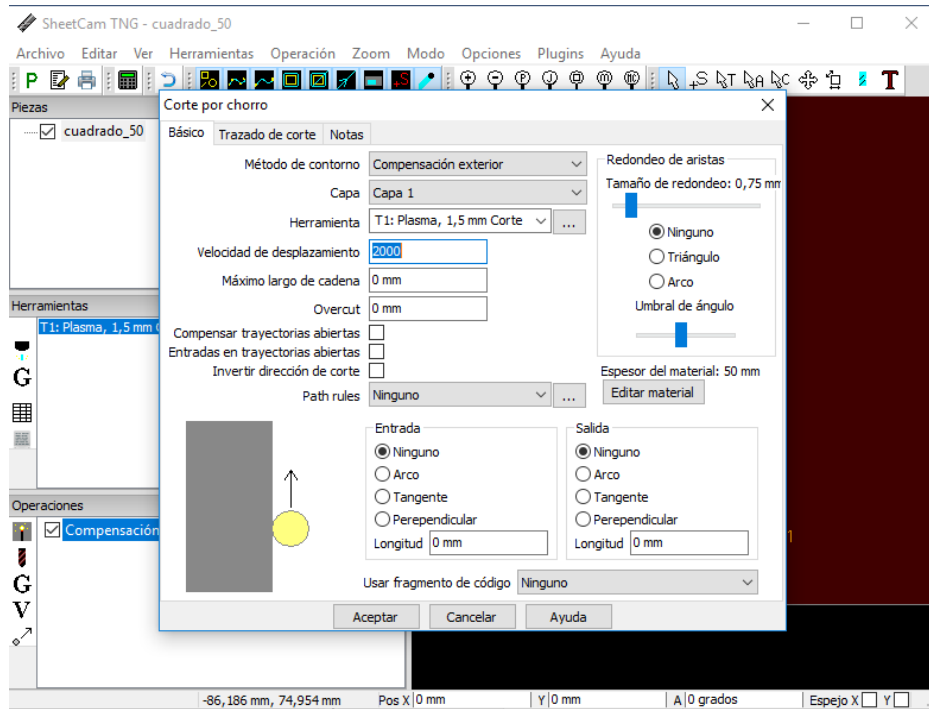


Figura 76. Selección de operación de corte en el software SheetCam

Fuente: Investigador.

El material con el cual se realizó las pruebas es tol de 1 [mm], el cual es de fácil acceso en el mercado, además que en la empresa se trabaja con mayor frecuencia con este tipo de material.

Para proceder con el mecanizado el sistema necesita ser energizado por lo que se enciende la fuente que energiza el ordenador y la tarjeta CNC Shield para tener el control de los motores e iniciar el servidor. Se procede al encendiendo del compresor de aire y la cortadora de plasma. Una vez ya creado el archivo se procede a cargar por medio del software bCNC o desde el servidor.

Para la realización de las diferentes pruebas se modificó parámetros como es la velocidad de corte, el amperaje entregado por la máquina y la presión de aire. En la tabla 15 se muestran los diferentes resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 15. Parámetros de pruebas del sistema

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Unidades
Material	Tol	Tol	Tol	Tol	Tol	
Espesor	1	1	1	1	1	[mm]
Area de corte	50x50	50x50	50x50	50x50	50x50	[mm]

Corriente	10	10	15	20	20	[A]
Aire	10	20	30	40	40	%
Velocidad de corte	1000	1500	1500	2000	2500	[mm/min]

Fuente: Investigador.

En el anexo D se visualiza los reportes generados por el software SheetCam, en donde el parámetro a tomar en cuenta es el tiempo de trabajo de cada prueba de forma automatizada los cuales se observan en la tabla 16. Además, se realizó pruebas de corte de forma manual con los mismos parámetros de corriente y de aire efectuados en las pruebas de mecanizado.

Tabla 16. Tiempo de corte de forma manual y automatizada

Pruebas	Tiempo de forma manual	Tiempo de forma automatizada	Unidades
Prueba 1	74	16,75	[s]
Prueba 2	65	11,07	[s]
Prueba 3	70	11,07	[s]
Prueba 4	59	9,12	[s]
Prueba 5	68	7,89	[s]

Fuente: Investigador.

En la figura 77 se puede visualizar los cortes efectivos realizados, en la imagen superior se visualiza el corte realizado de forma automatizada, que a través de una herramienta de medición se observa que se aproxima a las medidas deseadas. En imagen inferior se distingue el corte de forma manual evidenciando que las medidas no son las deseadas además sobre la superficie se encuentra escoria metálica, es decir la rebaba que queda debido a que el corte no fue realizado con una velocidad estable.



Figura 77. Cortes realizados de forma automática y manual

Fuente: Investigador.

4.8. Resultados

Los resultados de la automatización del sistema por corte por plasma para la empresa Invenios3D fueron los esperados, tanto en la parte mecánica, electrónica y de control.

Empezando desde el sistema mecánico en lo que respecta a la máquina presenta características resistentes y durables debido a los materiales con los cuales se logró ensamblar la máquina, además cuenta con un área de trabajo mucho mayor de la

requerida que es de 750 [mm] x 1300 [mm], que es el tamaño máximo que se puede llegar a mecanizar, en la tabla 16 se puede visualizar la distancia del recorrido mínimo y máximo del área de trabajo que logra realizar el sistema.

Tabla 17. Desplazamiento mínimo y máximo de los ejes X,Y,Z.

Recorrido	Eje X	Eje Y	Eje Z	Unidades
Mínimo	1	1	1	mm
Máximo	750	1300	20	mm

En base a las pruebas realizadas del mecanizado de las piezas, mostradas en la tabla 15, se interpretó los siguientes resultados:

- En la prueba uno realizada con valores mínimos en la velocidad, en la corriente de arco y el porcentaje de aire, se evidencio que el corte no satisface debido a que no logra perforar el material, produciendo una escoria o rebaba que es una acumulación de metal de soldadura en el borde inferior del corte.
- En las pruebas dos de igual manera modificando los parámetros de obtiene resultados similares a la prueba uno, manifestándose menor escoria debido al aumento de la velocidad.
- En la prueba tres realizada con el mismo parámetro de velocidad que la prueba dos, y aumentando los parámetros de la corriente de corte y el flujo de aire se produce un corte ligero en el material que a simple vista se evidencia que no es suficiente para llegar a cortar completamente el material.
- En la prueba cuatro aumentando el flujo de corriente, el aire y la velocidad se asegura que el material está completamente cortado con un mínimo porcentaje de escoria, es decir los parámetros de corte son los ideales para este tipo de material.
- La prueba cinco se realiza manteniendo la presión de aire, la corriente de corte, y únicamente aumentando el valor de la velocidad observando como resultado el corte de la pieza, sin embargo, como la velocidad aumento el corte no es de buena calidad y se evidencia escoria de alta velocidad que se la debe retirar amolando.
- Entonces por medio de las pruebas realizadas se determinó que para el material con el que más se trabaja en la empresa los parámetros de corte ideales son de 20 amperios en la corriente de corte, con un 40% de flujo de aire y a una velocidad de

2000 [mm/min], por lo que se recomienda verificar dichos parámetros para su posterior trabajo.

Las pruebas realizadas de los tiempos de corte de forma manual y de forma automatizada se evidencian en la imagen 78.

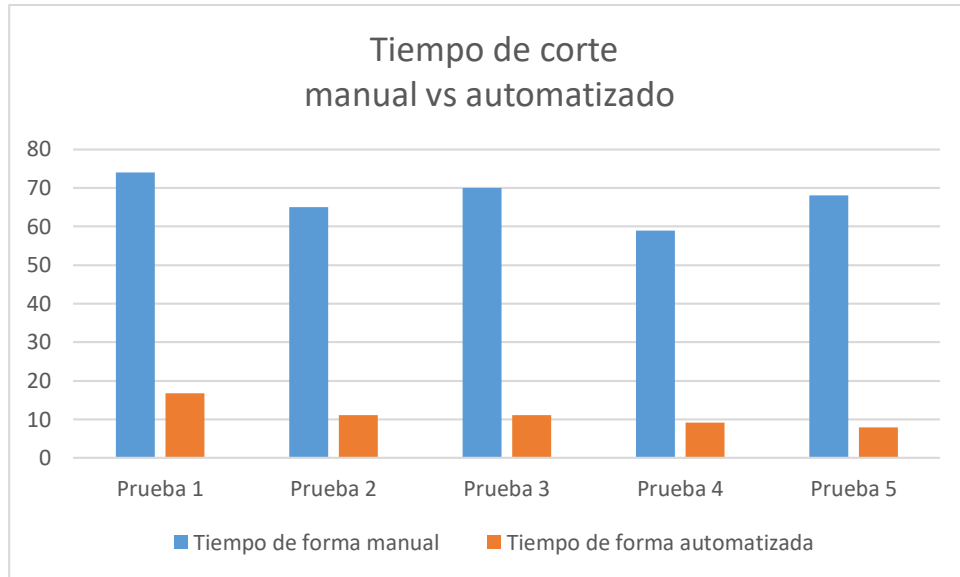


Figura 788. Tiempo de corte manual vs automatizado

Fuente: Investigador.

Con la ecuación 7 se calcula la variación porcentual de tiempo ahorrado entre el corte realizado de forma manual y el corte realizado de forma automática

$$\% \text{ de Tiempo} = \left(\frac{\text{Tiempo de forma manual} - \text{tiempo de forma automatizada}}{\text{tiempo de forma manual}} \right) * 100\% \quad (7)$$

Tabla 18. Porcentaje de tiempo de las pruebas

Pruebas	Porcentaje de tiempo [%]
Prueba 1	77,36
Prueba 2	82,96
Prueba 3	84,18
Prueba 4	84,54
Prueba 5	88,39

Fuente: Investigador.

En la tabla 18, se visualiza la variación porcentual ahorrado en cada una de las pruebas realizadas, es decir que en la prueba cuatro con los parámetros ideales de corte se tiene un porcentaje del 84,54 % en ahorro de tiempo y con un acabado aceptable. De esta

manera se considera que el sistema de automatización tiene un gran desempeño y es de gran utilidad para la empresa.

En la tabla 19 se evidencia el resultado de las mediciones realizadas en el mecanizado de forma automatizada y de forma manual, sabiendo que para obtener una medida real de una magnitud siempre se cuenta con errores de medición debido a varios aspectos, con los resultados obtenidos se realiza los cálculos para hallar el error absoluto con la fórmula 8 y el error relativo con la fórmula 9, determinando que en esta prueba el error entre el corte manual con respecto al corte automatizado cuenta con un 13,4% de diferencia lo que significa que es un alto índice de pérdida en la precisión de la pieza en este caso se produce un aumento de material al resultado deseado, puede variar que en otros casos el resultado obtenido sea con pérdida de material al corte deseado, y dando como resultado que el sistema automatizado cumple con las expectativas de mejorar el parámetro de la precisión de corte.

$$Error\ Absoluto = Resultado\ deseado - Resultado\ obtenido \quad (8)$$

$$Error\ Relativo = \left(\frac{Error\ absoluto}{Resultado\ deseado} \right) * 100\% \quad (9)$$

Tabla 19. Mediciones de corte de forma automatizada vs forma manual

Tipo de Corte	Resultado deseado	Resultado Obtenido	Error absoluto	Error relativo	Unidades
Mecanizado Automatizado	50	50,3	-0,3	-0,6%	[mm]
Mecanizado de forma manual	50	57	-7	-14%	[mm]

Fuente: Investigador.

Al implementar el sistema electrónico y de control con hardware y software libre, es decir, con el ordenador Raspberry PI y con la tarjeta Arduino se logró automatizar un sistema de control a bajo costo, logrando incorporar un servidor para control y monitoreo de la máquina desde cualquier dispositivo conectado a la misma red de la empresa generando ganancias en tiempo, consumo y protección para los operadores.

4.9. Presupuesto

Para el presupuesto total del sistema automatizado para corte por plasma, se toma en cuenta todos los gastos directos e indirectos efectuados para el diseño y construcción del sistema y los cuales se dividen dos partes como es la parte de la estructura mecánica y la parte electrónica.

Para la parte de la estructura mecánica del sistema se describe el ensamblaje y construcción del sistema que se detallan en la tabla 20.

Tabla 20. Presupuesto de la parte mecánica.

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
1	Ensamblaje y construcción de la estructura y mesa de corte (incluye material)	1	250,00	250,00
2	Guías, soportes, tornillos de potencia, pernos de sujeción (material: acero, aluminio, plástico)	1	200,00	200,00
3	Ensamblaje de estructura de la mesa de control (incluye material)	1	80,00	80,00
4	Caja de paso (Caja de control)	1	15	15,00
Subtotal				545,00
Imprevistos (5%)				27,25
Total				572,25

Fuente: Investigador.

Los materiales y elementos en la parte electrónica fueron adquiridos en diferentes tiendas de material eléctrico y electrónico a nivel nacional los cuales se detallan en la tabla 21.

Tabla 21. Presupuesto de la parte electrónica.

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
1	Motores paso a paso	4	25,00	100,00
2	Drivers DVR8825	4	5,00	20,00
3	Arduino UNO	1	15,00	10,00
4	CNC Shield V3.0	1	8,00	8,00
5	Raspberry PI 3	1	60,00	60,00
6	Fuente DC	1	20,00	20,00
7	Modulo Relé 5v	1	2,50	2,50
8	Finales de Carrera	6	2,00	12,00
9	Bornera de 2,5 mm	22	1,23	27,06
10	Switch de dos posiciones	1	1,43	1,43
11	Pulsador metálico tipo hongo (Paro de emergencia)	1	2,55	2,55
12	Cable multiconductor 4*22 AWG	15 metros	0,95	14,25
Subtotal				277,79
Imprevistos (5%)				13,88
Total				291,68

Fuente: Investigador.

La empresa ya cuenta con el equipo de plasma y el compresor de aire no se toma en cuenta en el presupuesto total sin embargo en la tabla 22 se estima el valor de los equipos

Tabla 22. Presupuesto equipos de corte plasma y compresor de aire.

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
1	Equipo de corte por plasma BP.	1	630,00	630,00
2	Equipo Compresor de Aire	1	110,00	110,00
Total				740,00

Fuente: Investigador.

Finalmente, aplicando la ecuación 10 permite obtener el presupuesto total del sistema.

$$Total_{proyecto} = Total_{mecanica} + Total_{electronica} \quad (10)$$

$$Total_{proyecto} = 572,25 + 291,68$$

$$Total_{proyecto} = 863,93.$$

En la ecuación 11 se obtiene el presupuesto a desarrollar un sistema sin contar con los equipos necesarios.

$$Total_{sistemaconequipos} = Total_{proyecto} + Total_{equipos} \quad (11)$$

$$Total_{sistemaconequipos} = 863,93 + 740,00$$

$$Total_{sistemaconequipos} = 1603,93$$

El presupuesto total para el desarrollo del proyecto de investigación para el sistema de automatización de corte por plasma es de 863,93 dólares americanos, sin tomar en cuenta los equipos necesarios para el funcionamiento del sistema, en el caso de implementar el sistema sin contar con los equipos, el costo asciende a 1603,93 deducidos en la ecuación nueve.

El precio es muy conveniente para la fabricación y distribución de este tipo de sistemas.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En actualidad la empresa Invenios3D cuenta con una máquina de corte por láser en donde trabaja con materias primas como el metacrilato y mdf. Con la implementación del sistema automatizado de corte por plasma logra emigrar a materiales como el acero, metal, tol, aluminio, etc., logrando un gran acabado en las piezas finales, además que es un sistema muy versátil por lo que se puede ocupar con diferentes herramientas dando una mayor funcionalidad.
- En los requerimientos de la empresa se indica que el área de trabajo debe contar con un dimensionamiento de 600 x 1200 [mm], entonces con el diseño de la estructura se logró implementar un área de trabajo valido de hasta 750 x 1300 [mm], mejorando notablemente las expectativas de la empresa.
- De acuerdo al análisis realizado en las pruebas de mecanizado por automatización se obtiene los parámetros de corriente de corte de 20 [A], flujo de aire con un 40% y velocidad de desplazamiento con un 2000 [mm/min] ideales para trabajar con un material de espesor de 1 [mm], dicho material es ocupado en la empresa con mayor frecuencia, mejorando parámetros de tiempo y precisión dando un 84,54% de tiempo ahorrado y una diferencia de 13,4% de precisión que haciendo el mismo mecanizado de forma manual.
- El software SheetCam seleccionado cumple con las expectativas para la generación de los archivos con formato .gcode, debido a que cuenta con diferentes

piezas de corte incluido el plasma y además de contar con un postprocesador que trabaja con el firmware GRBL. El software bCNC instalado en el ordenador funciona correctamente para realizar el control y monitoreo del sistema, contando con la opción colgante que permite ejecutar el servidor para tener acceso a la máquina desde cualquier dispositivo conectado a la red.

5.2. Recomendaciones

- Para futuras escalabilidades de la máquina en la parte electrónica se puede implementar sensores inductivos además de un sensor THC (control de temperatura para el plasma) que sirve para el ajuste automático del voltaje de arco de corte y en la parte mecánica se puede implementar la transmisión de los ejes mediante el sistema piñón-cremallera para que el desplazamiento sea sin trabas ni saltos en los pasos.
- Realizar un buen sistema de tierras debido a que la energía utilizada en la parte de potencia de la cortadora de plasma puede conllevar a que exista interferencia con el sistema de control. Realizar un mantenimiento preventivo de los sistemas mecánicos como los ejes de desplazamiento, los motores, la antorcha, así como del sistema electrónico debido a que se presenta polvo o residuos metálicos por el trabajo que realiza la máquina y a su vez mantener un sistema alineado en su totalidad para siempre obtener cortes precisos, tanto en la altura de la antorcha con el material.
- Realizar pruebas previas sin el encendido de la antorcha para verificar que el área de corte sea el correcto en el material a mecanizar, el dimensionamiento de los diseños sea a escala real, utilizar equipo de seguridad como gafas, guantes para la manipulación de las piezas y esperar un cierto tiempo después que se realice el mecanizado de las piezas debido a la exposición de altas temperaturas, y además de brindar capacitaciones a los operarios, para un mejor funcionamiento.
- Para realizar el mecanizado de piezas desde cualquier dispositivo conectado a la red, es decir ingresando por la página web, se debe verificar que el sistema no se encuentre en funcionamiento, que el material este perfectamente colocado en la mesa de trabajo, a su vez encender los equipos de corte y el compresor de aire, y setear la posición inicial para realizar el mecanizado, el control de la maquina desde el servidor

debe exceder de dos usuarios a la vez debido que se puede presentar errores en la manipulación del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. E. Amestoy, «Apuntes de tecnología de fabricación,» Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2003.
- [2] M. E. Amestoy, «Principios de mecanizado y planificación de procesos,» Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2007.
- [3] M. A. Suntaxi Álava, «Diseño y construcción de una máquina cnc cortadora por plasma para planchas de acero de hasta 10mm de espesor,» Universidad Internacional del Ecuador, Quito, 2017.
- [4] S. R. Allauca Necochea, «Diseño e implementación de un sistema automatizado por control numérico computarizado para cortes por plasma en los procesos de manufactura de la empresa CEM INGENIEROS E.I.R.L,» Universidad Tecnológica del Perú, Lima, 2017.
- [5] K. D. Mirallas Secaira y P. J. Portes Rojas, «Diseño de una máquina cortadora por plasma CNC,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2015.
- [6] M. S. M. Molina y C. D. Terán Vaca, «Diseño y construcción de una cortadora por plasma de tres ejes con una cama de agua mediante control numérico computarizado para el laboratorio CNC,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2017.
- [7] R. W. Artiga Rivera, G. J. Bolaños Castillo, A. A. Martínez Rivas y E. G. Reyes Magaña, «Diseño y construcción de un sistema para corte por plasma, usando técnicas de control numérico computarizado,» Universidad de El Salvador, El Salvador, 2015.
- [8] I. T. d. C. Rica, «Espacio Virtual de la Física,» [En línea]. Available: <https://tecdigital.tec.ac.cr/revista-fisica/Archivo/N10/Articulos/articulo1-10-p1.htm>. [Último acceso: 10 Enero 2018].
- [9] J. A. Carrasco Ruiz, «Caracterización del plasma de oxígeno para microsistemas,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2016.
- [10] A. L. Naranjo Gavidia, «Control numérico computarizado aplicado a la automatización de una cortadora a plasma,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2017.

- [11] D. Moñux Chércoles, «Historia de la automática,» Escuela superior superior de ingenieros industriales, Valladolid, 2001.
- [12] M. Pavia Parra, «Diseño, construcción y evaluación de un robot cartesiano xyz electroneumático,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2015.
- [13] ISO, «Robots and Robotic devices,» [En línea]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:3.11>. [Último acceso: 10 01 2018].
- [14] M. P. Parra, «Diseño, construcción y evaluación de un robot cartesiano xyz electro neumático,» UNiversidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2016.
- [15] J. J. Craig, Robótica, TERCERA ed., México: Pearson Education, 2006.
- [16] L. A. Amanta Sanchez, «Diseño y construcción de la base para el brazo robótico "UTN",» Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2017.
- [17] R. D. Godoy Hernández y W. Rodríguez Quintero, «Diseño y modelamiento de un robot cartesiano para el posicionamiento de piezas,» Universidad de la Salle, Bogota D.C, 2007.
- [18] J. Alvarez, «Máquina de corriente continua,» de *Motores de Inducción*, 2012, p. 260.
- [19] V. R. Gonzalez, «Fundamentos de la Robótica,» 2002-03. [En línea]. Available: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motore_s_p-p.htm. [Último acceso: 10 01 2018].
- [20] A. Sanchez Miralles, «Instituto de Investigacion Tecnológica,» [En línea]. Available: <https://www.iit.comillas.edu/alvaro/teaching/Clases/Robots/teoria/Sensores%20y%20actuadores.pdf>. [Último acceso: 27 04 2018].
- [21] A. Medina Domínguez y J. Ovejero Sánchez, «Física I,» Universidad de Salamanca, Salamanca, 2010/11.
- [22] J. D. Chimarro Amaguaña y A. D. Enríquez Herrera, «Diseño, construcción e implementación de un robot esférico de 4 grados de libertad para manipulación de objetos utilizando la plataforma robótica operating system (ros),» Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2015.

- [23] A. Romeo, «Área de Ingeniería de Sistemas y Automática,» [En línea]. Available: <http://automata.cps.unizar.es/robotica/Morfologia.pdf>. [Último acceso: 10 01 2018].
- [24] J. M. Campos García, «Modelado y simulación dinámica del robot industrial FANUC M-410IB/700,» Universidad de Valencia, Valencia, 2015.
- [25] B. Cuervo Álvarez, «Energías alternativas, energización y robótica,» Mexico, 2006.
- [26] F. Cidester, «Introducción a la tecnología CNC,» [En línea]. Available: http://www.cecma.com.ar/__mm/biblioteca/introduccion-a-la-programacion-cnc-modulo-i.pdf. [Último acceso: 27 04 2018].
- [27] R. Luis, «R. Luis CNC,» [En línea]. Available: <http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [28] L. Llamas, «¿Qué es Raspberry PI?,» 15 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/que-es-raspberry-pi/>. [Último acceso: 18 06 2018].
- [29] «¿Qué es Arduino?,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 18 06 2018].
- [30] «Hub MakerSpace,» 20 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://hubmakerspace.do/blog/arduino-intro/>. [Último acceso: 16 Junio 2018].
- [31] V. Autores, Mecanizado Básico para electromecánica, Editorial Paraninfo, 2011, p. 161.
- [32] «Fundamentos del corte por plasma,» [En línea]. Available: <http://www.kjellberg.de/Tecnologia-de-corte/Plasma/Procedimiento/Principio-y-variantes.html>. [Último acceso: 16 Junio 2018].
- [33] «Hypertherm Shaping Possibility,» 29 01 2016. [En línea]. Available: <https://www.hypertherm.com/es/learn/articles/pac-systems---starting-problems/>. [Último acceso: 16 Junio 2018].
- [34] «Lincoln Electric,» [En línea]. Available: <https://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/plasma-cutting-basics-detail.aspx>. [Último acceso: 16 Junio 2018].

- [35] BPEcuador, «Corporación BP Cía. Ltda.» 2018. [En línea]. Available: <https://www.bpecuador.com/CUT-60-CORTADORA-DE-PLASMA-13MM>. [Último acceso: 16 Junio 2018].
- [36] I. E. d. Normalización, 08 2008. [En línea]. Available: <https://ia801903.us.archive.org/35/items/ec.nte.0115.2008/ec.nte.0115.2008.pdf>. [Último acceso: 18 07 2018].
- [37] «Carbone Portones,» [En línea]. Available: <https://www.empresascarbone.com/pdf/ruedas-de-porton.pdf>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [38] «Eutron,» [En línea]. Available: <https://eutron.es/rodamientos/3650-rodamiento-de-bolas-radial-arbol-o-8mm-o-ext-22mm-an-7mm-tipo-din-608-2rs-.html>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [39] A. Muñoz, «Electronica, IceZUM y Arduino,» 17 06 2017. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/angmuz/home/proyecto-39-1-arduino-3-axis-cnc-plotter>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [40] EcuRed, «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Transmisi%C3%B3n_por_correa. [Último acceso: 25 07 2018].
- [41] «Fisher CNC y Electrónica,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/fischercncyelectronica/que-hace-un-reuter-cnc/que-se-debe-tener-en-cuenta-para-comprar-un-reuter/sistema-de-guiado/transmision-del-movimiento>. [Último acceso: 25 07 2018].
- [42] A. P. Gonzalez, «Mecapedia,» 07 07 2014. [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/tornillo_de_potencia.htm. [Último acceso: 25 07 2018].
- [43] A. Pulido, «Mecanismo de piñon-cremallera,» 04 09 2008. [En línea]. Available: <https://aprendemostecnologia.org/2008/09/04/mecanismo-de-pinion-cremallera/>. [Último acceso: 25 07 2018].
- [44] «Yaco,» 15 12 2017. [En línea]. Available: <http://yaco.es/como-funciona-un-motor-de-corriente-continua/>. [Último acceso: 25 07 2018].

- [45] F. Mecafenix, «Ingeniería Mecafenix,» 18 04 2017. [En línea]. Available: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/servomotor/>. [Último acceso: 25 07 2018].
- [46] «Geek Factory,» 25 08 2017. [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/motor-a-pasos-tutorial-introductorio/>. [Último acceso: 25 07 2018].
- [47] «TT Motor,» 22 07 2017. [En línea]. Available: <http://www.usattmotor.com/news/what-s-the-difference-between-dc-servo-step-8387158.html>. [Último acceso: 25 07 2018].
- [48] «StaticBoards,» [En línea]. Available: https://www.staticboards.es/blog/motores-paso-paso/#Que_tipos_de_motores_stepper_puedo_comprar. [Último acceso: 1 08 2018].
- [49] F. Cuenca, «Máquinas Eléctricas y Sistemas Electromecánicos,» Instituto Balseiro, Bariloche, 2007.
- [50] «SuperRobotica,» [En línea]. Available: <http://www.superrobotica.com/S310086.htm>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [51] «SuperRobotica,» [En línea]. Available: <http://www.superrobotica.com/S310084.htm>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [52] T. Instruments, «DVR8825 Stepper Motor Controller IC,» USA, 2014.
- [53] S. Ferrete, «SR. FERRETE,» 23 03 2018. [En línea]. Available: http://srferrete.es/wp-content/uploads/2018/02/microrruptor_4.jpg. [Último acceso: 01 08 2018].
- [54] [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/Arduino-extremos-carrera-mec%C3%A1nico-impresora/dp/B0776PV6LF>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [55] «Key Studio,» 21 08 2018. [En línea]. Available: http://wiki.keyestudio.com/index.php/Ks0094_Arduino_CNC_kit/_CNC_Shield_V2.0_%2Bkeyestudio_Uno_R3%2B3pcs_A4988_Driver/_GRBL_Compatible. [Último acceso: 22 08 2018].
- [56] «Brico Geek,» [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/shields-arduino/837-arduino-cnc-shield-v3.html>. [Último acceso: 22 08 2018].

- [57] E. Gonzales, «StaticBoard,» [En línea]. Available: <https://www.staticboards.es/blog/dominar-motor-paso-a-paso-con-grbl/>. [Último acceso: 01 08 2018].
- [58] S. Jeon, «Github,» 17 03 2017. [En línea]. Available: <https://github.com/grbl/grbl/wiki>. [Último acceso: 01 08 2018].

ANEXOS

ANEXO A

Hoja de datos de motor paso a paso KH56.

2-Phase Hybrid Stepping Motor

1.8°

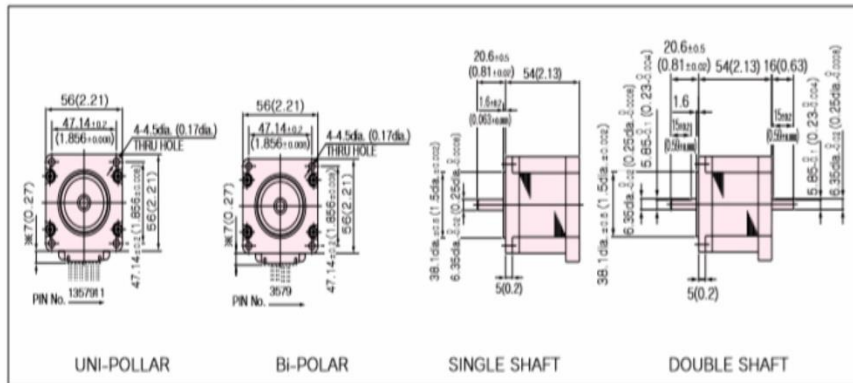
KH56 series

HIGH TORQUE, LOW VIBRATION AND LOW NOISE

■ STANDARD SPECIFICATIONS

MODEL	KH56KM2				
	SINGLE SHAFT	-901	-902	-903	-951
	DOUBLE SHAFT	-911	-912	-913	-961
DRIVE METHOD	-----	UNI-POLAR			BI-POLAR
NUMBER OF PHASES	-----	2			2
STEP ANGLE	deg./step	1.8			1.8
VOLTAGE	V	2.3	3.6	6.71	2.4
CURRENT	A/PHASE	3.0	2.0	1.0	2.0
WINDING RESISTANCE	Ω/PHASE	0.77	1.79	6.71	1.32
INDUCTANCE	mH/PHASE	1.04	3.0	9.36	3.19
HOLDING TORQUE	mN · m	834	834	834	932
	oz · in	118	118	118	132
DETENT TORQUE	mN · m	37	37	37	37
	oz · in	5.2	5.2	5.2	5.2
ROTOR INERTIA	g · cm ²	188	188	188	188
	oz · in ²	1.0	1.0	1.0	1.0
WEIGHTS	g	650	650	650	650
	lb	1.4	1.4	1.4	1.4
INSULATION CLASS	-----	JIS Class E (120°C 248° F) (UL VALUE : CLASS B 130°C 266° F)			
INSULATION RESISTANCE	-----	500VDC 100MΩmin.			
DIELECTRIC STRENGTH	-----	500VAC 50HZ 1min.			
OPERATING TEMP. RANGE	°C	0 to 50			
ALLOWABLE TEMP. RISE	K	70			

■ DIMENSIONS unit = mm (inch)





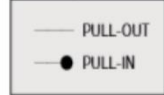
Features

- Stronger torque generated in higher speed zone (KH56KM2-901 generates 1.2 times torque of our previous model at 1200 r/min. speed)
- Lowered Vibration by increased stiffness of body construction (lowered by 10% than our previous model)
- Improved Efficiency (1.1 times of our previous model, by high grade materials)

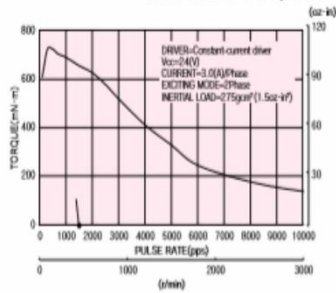
TORQUE CHARACTERISTICS vs. PULSE RATE

UNI-POLAR

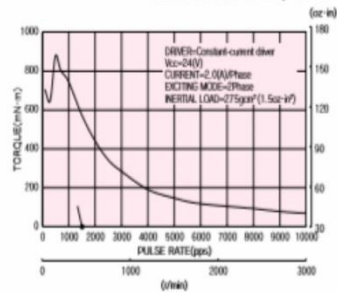
BI-POLAR



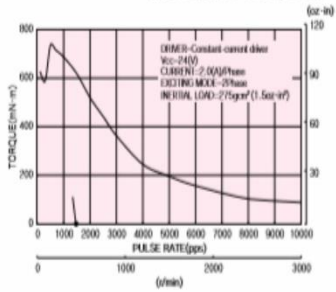
KH56KM2-901, 911



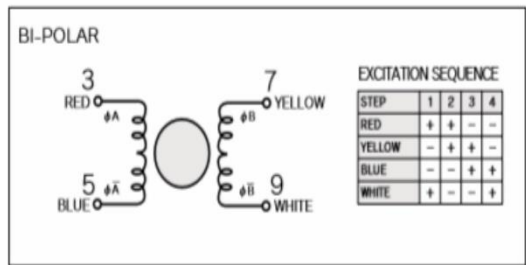
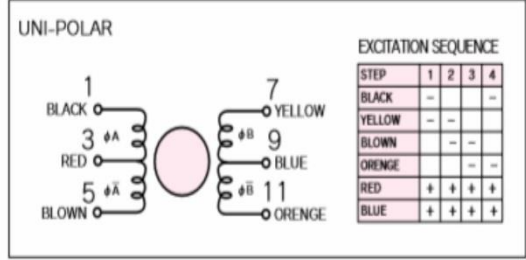
KH56KM2-951, 961



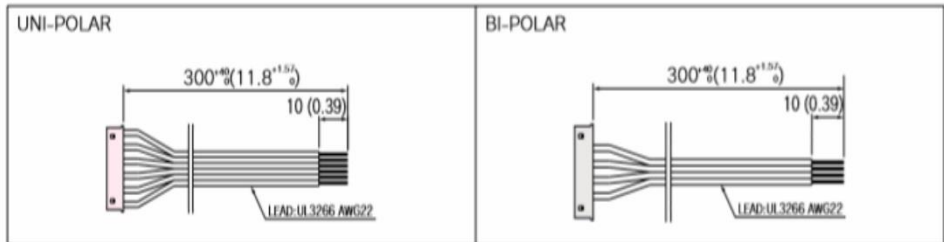
KH56KM2-902, 912



CONNECTION DIAGRAMS



CONNECTION CABLE TO MOTOR unit = mm (inch)

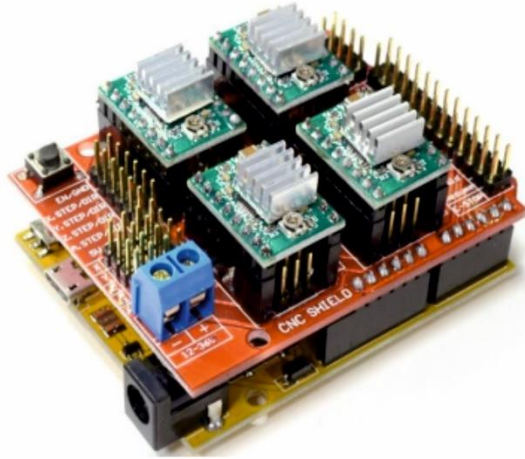


ANEXO B

Shield CNC v3

3-Axis CNC/Stepper Motor Shield for Arduino

The Arduino CNC Shield makes it easy to get your CNC projects up and running in a few hours. It uses opensource firmware on Arduino to control 4 stepper motors using 4 pieces of A4988 Stepper Motor driver breakout board, with this shield and ArduinoUno/Mega, you can build all kinds of robotics, linear motion project or projects including CNC routers, laser cutters and even pick&place machines.



SKU: [DRV1001](#)

Brief Data:

- GRBL 0.9 compatible. (Open source firmware that runs on an Arduino UNO that turns G-code commands into stepper signals)
- 4-Axis support (X, Y, Z, A-Can duplicate X,Y,Z or do a full 4th axis with custom firmware using pins D12 and D13)
- 2 x End stops for each axis (6 in total)
- Coolant enable
- Uses removable A4988 compatible stepper drivers. (A4988, DRV8825 and others)(Not Included)
- Jumpers to set the Micro-Stepping for the stepper drivers. (Some drivers like the DRV8825 can do up to 1/32 micro-stepping)
- Compact design.
- Stepper Motors can be connected with 4-pin Molex connectors or soldered in place.
- Runs on 12-36VDC. (At the moment only the DRV8825 drivers can handle up to 36V so please consider the operation voltage when powering the board.)

ANEXO C

Programación de página web en lenguaje .html

```
<html>
<head>
<title>bCNC Pendant</title>
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1" />
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="pure-min.css" />
<script type="text/javascript" src="jquery-2.1.4.min.js" ></script>
<script type="text/javascript" src="fastclick.js"></script>
<script type="text/javascript">
    /* set up all functions */
    var rpmmax = 12000;
    var xmlhttp = false;
    var WCS = ["G54", "G55", "G56", "G57", "G58", "G59", "G28", "G30", "G92"];
    var WCSVAL = ["wcsx", "wcsy", "wcsz"];
    function findWcs(x)
    {
        for (i=0; i<WCS.length; i++)
            if (WCS[i]==x) return i;
        return -1;
    } // findWcs
    function getState()
    {
        $.ajax({
            url: '/state',
            dataType: 'json',
            success: function(result,status,xhr) {
                $('#state').html(result.state);
                $('#state').bgColor = result.color;
                $('#msg').html(result.msg);
                $('#x').html(result.wx);
                $('#y').html(result.wy);
                $('#z').html(result.wz);
                //parse $G response
                for (k=0; k<result.G.length; k++) {
                    if (WCS.indexOf(result.G[k]) > -1)
                        $('#wcs').val(result.G[k]);
                }
            }
        });
    }
</script>
</head>
<body>
<div id="state"></div>
<div id="msg"></div>
<div id="x"></div>
<div id="y"></div>
<div id="z"></div>
</body>
</html>
```

```

                else if (result.G[k] == "M8")
                    $('#coolant').val("On");
                else if (result.G[k] == "M3")
                    $('#spindle').val("100%");
            }
        }
    });
    var canvas = $("#cnc-canvas");
    canvas.attr(
        'src',
        canvas.attr('src') + '?' + new Date().getTime()
    );
} // getState

/* parse once configuration */
function getConfig()
{
    $.ajax({
        url: '/config',
        dataType: 'json',
        success: function(result,status,xhr) {
            rpmmax = result.rpmmax;
        }
    });
} // getConfig

function vibrate(t)
{ //safari has issues with 'notification'
    // if ("vibrate" in navigator) {
    //     navigator.vibrate(t);
    // } else if ("vibrate" in notification) {
    //     navigator.notification.vibrate(t);
    // }
} // vibrate

function sendCmd(command)
{
    $.ajax({
        url: '/send',
        data: { cmd: command }
    });
}

```



```

        vibrate(500);
    }
    /*is this necessary when sendCmd would do the same thing?*/
    function sendGcode(command)
    {
        $.ajax({
            url: '/send',
            data: { gcode: command }
        });
        vibrate(50);
    } // sendCmd

    function setWcs()
    {
        wcs = $('#wcs').val();
        p = findWcs(wcs);

        if (p<6)
            cmd = "G10L20P"+(p+1);
        else
            if (p==6)
                cmd = "G28.1";
            else
                if (p==7)
                    cmd = "G30.1";
                else
                    if (p==8)
                        cmd = "G92";

        for (i=0; i<WCSVAL.length; i++) {
            x = $("#"+WCSVAL[i]).val();
            if (x != "") {
                cmd += "XYZ"[i] + x;
                $("#"+WCSVAL[i]).val("");
            }
        }
        sendGcode(cmd+"\n$#\n$G");
    } // setWcs

    function wcsChange()

```

```

{
    sendGcode($('#wcs option:selected').text() + "\n$G");
} // wcsChange

```

```

function spindleChange()
{
    rpm = $('#spindle option:selected').text();
    if (rpm=="Off")
        sendGcode("M5");
    else {
        getConfig();
        rpm = (parseInt(rpm) * rpmmax)/100;
        sendGcode("M3 S"+rpm);
    }
} // spindleChange

```

```

function coolantChange()
{
    coolant = $('#coolant option:selected').text();
    if (coolant=="Off")
        sendGcode("M9");
    else
        if (coolant == "On")
            sendGcode("M8");
} // spindleChange

```

```

function sendMove(command)
{
    gcode = "G91G0";
    step = $('#step option:selected').text();
    switch (command) {
        case 'O':
            gcode = "G90G0X0Y0Z0";
            break;
        case 'XO':
            gcode = "G90G0X0";
            break;
        case 'YO':
            gcode = "G90G0Y0";
            break;
    }
}

```

```

case 'ZO':
    gcode = "G90G0Z0";
    break;
case 'XdYu':
    gcode += "X-" + step + "Y" + step;
    break;
case 'Yu':
    gcode += "Y" + step;
    break;
case 'XuYu':
    gcode += "X" + step + "Y" + step;
    break;
case 'Xu':
    gcode += "X" + step;
    break;
case 'Xd':
    gcode += "X-" + step;
    break;
case 'XdYd':
    gcode += "X-" + step + "Y-" + step;
    break;
case 'Yd':
    gcode += "Y-" + step;
    break;
case 'XuYd':
    gcode += "X" + step + "Y-" + step;
    break;
case 'Zu':
    gcode += "Z" + step;
    break;
case 'Zd':
    gcode += "Z-" + step;
    break;
default:
    //handle for errors here.
    break;
}
sendGcode(gcode);
sendGcode("G90");
} // sendMove

```

```

function fileChange()
{
    var formData = new FormData($('#upload-file')[0]);
    $.ajax({
        url: '/upload', //Server script to process data
        data: formData,
        type: 'POST',
        cache: false,
        contentType: false,
        processData: false
    });
}

/* PERFORM THESE ACTIONS ONCE THE PAGE HAS LOADED */
$(document).ready(function ()
{
    //set up fast click to handle mobile browser delay
    FastClick.attach(document.body);

    sendGcode("##\n$G\n");
    getConfig();
    setInterval(getState, 1000);
    /* ASSIGN FUNCTIONS TO UI ELEMENTS */
});
</script>
<style type="text/css">
    .command {
        width:100%;
        height:32px;
    }
    .fullwide {
        width:100%;
    }
    .large {
        text-align: center;
        font-size: 22px;
        color: DarkBlue;
    }
    .medium {

```

```

        text-align: center;
        font-size: 18px;
        color: DarkGreen;
    }
    .border > div {
        -webkit-box-sizing: border-box;
        -moz-box-sizing: border-box;
        box-sizing: border-box;
        border: 1px solid #999;
    }
    .hdr {
        font-weight: bold;
        font-size: 1.1em;
        height: 30px;
    }
    .direction {
        width: 100%;
        height: 64px;
    }
    .bold {
        font-weight: bold;
    }
    input[type="number"] {
        width: 15%;
        box-sizing: border-box;
        -webkit-box-sizing: border-box;
        -moz-box-sizing: border-box;
    }
    img.canvas {
        display: block;
        margin: 0 auto;
        object-fit: scale-down;
        //max-height: 600px;
        //width: 100%;
        //height: auto;
    }
</style>
</head>

<body>

```

```

<h1><center>INVENIOS 3D</center></h1>

<!-- CONTROL BUTTONS & STATUS INFO -->
<div class="pure-g">
    <div class="pure-u-1-3"><button id="btn-home" onclick="sendCmd('HOME');"
class="button command">Inicio</button></div>
    <div class="pure-u-1-3"><button id="btn-unlock" onclick="sendCmd('UNLOCK');"
class="button command">Desbloquear</button></div>
    <div class="pure-u-1-3"><button id="btn-reset" onclick="sendCmd('RESET');"
class="button command">Resetiar</button></div>
</div>
<br />
<div class="pure-g border">
    <div class="pure-u-1 large border" id="state" style="border-
bottom:0px;"><span>Estado</span>&nbsp;</div>
</div>
<div class="pure-g border">
    <div class="pure-u-1 medium border" id="msg" style="border-
bottom:0px;"><span>Mensaje</span>&nbsp;</div>
</div>

<div class="pure-g border">
    <div class="pure-u-1-3 large">X: <span id='x'>&nbsp;</span></div>
    <div class="pure-u-1-3 large">Y: <span id='y'>&nbsp;</span></div>
    <div class="pure-u-1-3 large">Z: <span id='z'>&nbsp;</span></div>
</div>
<br />
<div class="pure-g">
    <div class="pure-u-1-3"><button id="btn-run" onclick="sendCmd('INICIAR');"
class="button command">Comenzar</button></div>
    <div class="pure-u-1-3"><button id="btn-pause" onclick="sendCmd('PAUSA');"
class="button command">Pausar</button></div>
    <div class="pure-u-1-3"><button id="btn-stop" onclick="sendCmd('STOP');"
class="button command">Detener</button></div>
</div>
<div class="pure-g border">
    
</div>
<br />
<!-- MACHINE CONTROL SECTION -->

```

```

<div class="pure-g"><div class="pure-u-1 hdr">Machine Control</div></div>
<div class="pure-g">
  <div class="pure-u-1-4">
    Coolant:
      <select id="Antorcha" onchange="coolantChange();">
        <option value="Encendido" selected>Off</option>
        <option value="Apagar">On</option>
      </select>
    </div>
  </div>
  <br />
  <div class="pure-g">
    <div class="pure-u-1-2">
      <span style="padding-top:2px;">Command:</span>
      <input id="cmd" style="width:75%" />
      <button      onclick="sendCmd(encodeURIComponent($('#cmd').val()));
$('#cmd').val();" class="button">
        Send
      </button>
    </div>
    <div class="pure-u-1-2">
      <form id="upload-file" style="width:75%" enctype="multipart/form-data">
        Select file to upload:
        <input name="file" type="file" onchange="fileChange();" />
      </form>
    </div>
  </div>
  <br />
  <!-- WORK COORDINATE SYSTEM SECTION -->
  <div class="pure-g"><div class="pure-u-1 hdr">Work Coordinates</div></div>
  <div class="pure-g">
    <div class="pure-u-1">
      <select id="wcs" onchange="wcsChange();">
        <option value="G54" selected>G54</option>
        <option value="G55">G55</option>
        <option value="G56">G56</option>
        <option value="G57">G57</option>
        <option value="G58">G58</option>
        <option value="G59">G59</option>
      </select>
    </div>
  </div>

```

```

        <option value="G28">G28</option>
        <option value="G30">G30</option>
        <option value="G92">G92</option>
    </select>
    <span style="padding-left: 10px; padding-top:2px;">X: </span><input
id="wcsx" type="number" size="1"/>
    <span style="padding-left: 10px; padding-top:2px;">Y: </span><input
id="wcsy" type="number" size="1"/>
    <span style="padding-left: 10px; padding-top:2px;">Z: </span><input
id="wcsz" type="number" size="1"/>
    <button onclick="setWcs();" class="button">Set</button>
</div>
</div>
</div>
<br />
<!-- JOGGING SECTION -->
<div class="pure-g"><div class="pure-u-1 hdr">Jogging</div></div>

    <div class="pure-g">
        <div class="pure-u-1-6 bold" style="text-align:center;"><button
onclick="sendMove('ZO')" class="button direction">Z 0</button></div>
        <div class="pure-u-1-3">&nbsp;</div>
        <div class="pure-u-1-6 bold" style="text-align:center;"><button
onclick="sendMove('YO')" class="button direction">Y 0</button></div>
    </div>
    <div class="pure-g">
        <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('Zu)" class="button
direction">&#x25B2;</button></div>
        <div class="pure-u-1-6">&nbsp;</div>
        <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('XdYu)" class="button
direction">&#x25F8;</button></div>
        <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('Yu)" class="button
direction">&#x25B2;</button></div>
        <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('XuYu)" class="button
direction">&#x25F9;</button></div>
    </div>
    <div class="pure-g">
        <div class="pure-u-1-6" align="center">
            <select id="step" width="100%" style="margin-top:21px;">

```



```

        <option value="0.001">0.001</option>
        <option value="0.005">0.005</option>
        <option value="0.01">0.01</option>
        <option value="0.02">0.02</option>
        <option value="0.05">0.05</option>
        <option value="0.1">0.1</option>
        <option value="0.2">0.2</option>
        <option value="0.5">0.5</option>
        <option value="1" selected>1</option>
        <option value="2">2</option>
        <option value="5">5</option>
        <option value="10">10</option>
        <option value="20">20</option>
        <option value="50">50</option>
        <option value="100">100</option>
        <option value="500">500</option>
    </select>
</div>
<div class="pure-u-1-6 bold" style="text-align:center;"><button
onclick="sendMove('XO')" class="button direction">X 0</button></div>
    <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('Xd')" class="button
direction">&#x25C0;</button></div>
    <div class="pure-u-1-6" align="center"><button onclick="sendMove('O')"
class="button direction">&#x25EF;</button></div>
    <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('Xu')" class="button
direction">&#x25b6;</button></div>
</div>
<div class="pure-g">
    <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('Zd')" class="button
direction">&#x25BC;</button></div>
    <div class="pure-u-1-6">&nbsp;</div>
    <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('XdYd')"
class="button direction">&#x25FA;</button></div>
    <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('Yd')" class="button
direction">&#x25BC;</button></div>
    <div class="pure-u-1-6"><button onclick="sendMove('XuYd')"
class="button direction">&#x25FF;</button></div>
</div>
</div>
</body>

```

</html>

ANEXO D

Reportes generados por software SheetCam de mecanizados

Prueba 1

Job report

Job: cuadrado_50

Report created: 16/05/2019 12:43:16

Tools

Tool 1: Plasma, 1,5 mm Corte	
Type: Plasma	Kerf width: 1,5 mm
Notes:	

Parts

Part: cuadrado_50

Number of parts cut: 1

Compensación exterior, Capa 1, T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Tool: T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Feed rate: 1000 mm/min	Lead in: Ninguno	Lead out: Ninguno
Operation time: 16,75 s	Number of pierces: 1	Cut distance: 204,712 mm
Notes:		

Summary:

Job width: 51,5 mm
Job height: 51,5 mm
Job area: 2652,250 mm²

Number of tool changes: 1
Total cut distance: 204,712 mm

Prueba 2 y prueba 3

Job report

Job: cuadrado_50

Report created: 16/05/2019 12:54:21

Tools

Tool 1: Plasma, 1,5 mm Corte	
Type: Plasma	Kerf width: 1,5 mm
Notes:	

Parts

Part: cuadrado_50

Number of parts cut: 1

Compensación exterior, Capa 1, T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Tool: T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Feed rate: 1500 mm/min	Lead in: Ninguno	Lead out: Ninguno
Operation time:11,17 s	Number of pierces: 1	Cut distance:204,712 mm
Notes:		

Summary:

Job width: 51,5 mm
Job height: 51,5 mm
Job area: 2652,250 mm²

Number of tool changes: 1
Total cut distance: 204,712 mm

Prueba 4

Job report

Job: cuadrado_50

Report created: 16/05/2019 12:55:38

Tools

Tool 1: Plasma, 1,5 mm Corte	
Type: Plasma	Kerf width: 1,5 mm
Notes:	

Parts

Part: cuadrado_50

Number of parts cut: 1

Compensación exterior, Capa 1, T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Tool: T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Feed rate: 2000 mm/min	Lead in: Ninguno	Lead out: Ninguno
Operation time:9,12 s	Number of pierces: 1	Cut distance:204,712 mm
Notes:		

Summary:

Job width: 51,5 mm
Job height: 51,5 mm
Job area: 2652,250 mm²

Number of tool changes: 1
Total cut distance: 204,712 mm

Prueba 5

Job report

Job: cuadrado_50

Report created: 16/05/2019 13:15:41

Tools

Tool 1: Plasma, 1,5 mm Corte	
Type: Plasma	Kerf width: 1,5 mm
Notes:	

Parts

Part: cuadrado_50

Number of parts cut: 1

Compensación exterior, Capa 1, T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Tool: T1: Plasma, 1,5 mm Corte		
Feed rate: 2500 mm/min	Lead in: Ninguno	Lead out: Ninguno
Operation time: 7,89 s	Number of pierces: 1	Cut distance: 204,712 mm
Notes:		

Summary:

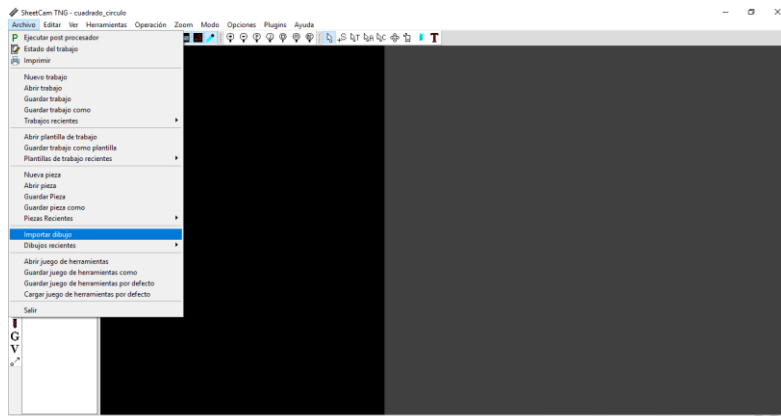
Job width: 51,5 mm
Job height: 51,5 mm
Job area: 2652,250 mm²

Number of tool changes: 1
Total cut distance: 204,712 mm

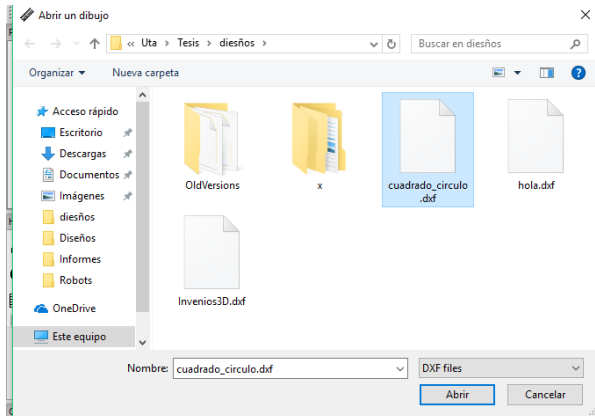
ANEXO E

Instrucciones para generar los archivos en formato .gcode

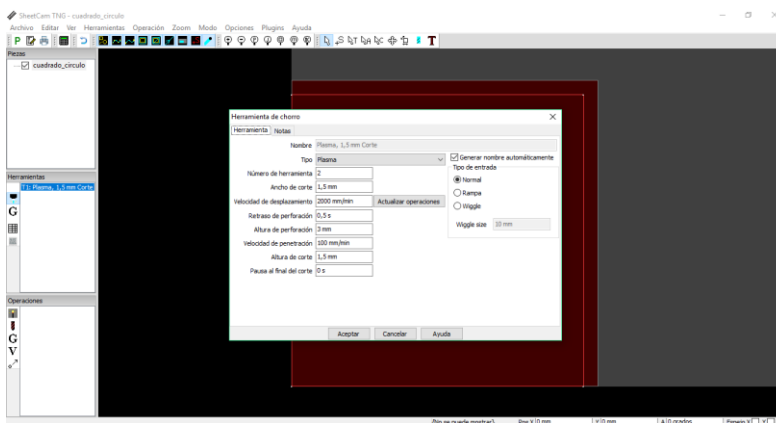
1. Una vez realizado el diseño en cualquier software CAD se procede a guardar o exportar en formato .svg o .dxf que son los tipos de archivos que interpreta el software SheetCam.
2. Se procede a ejecutar el software SheetCam
3. Una vez abierto se procede a importar el archivo a mecanizar.



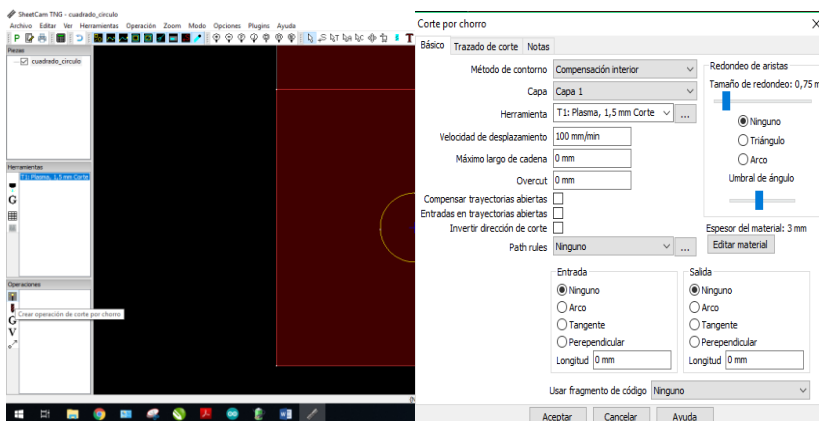
4. Seleccionamos el archivo con el que se va a trabajar.



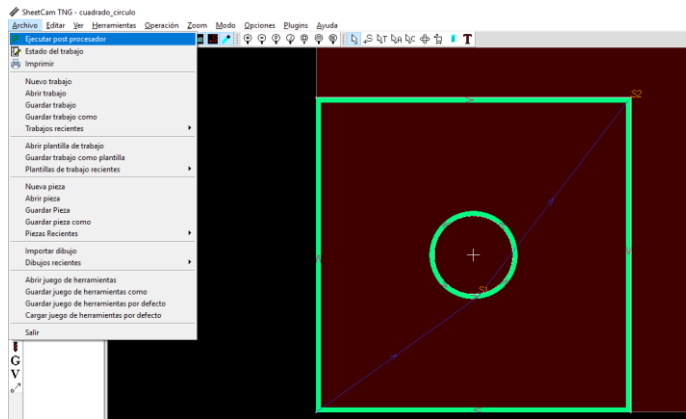
5. Una vez abierto el archivo seleccionamos la herramienta a trabajar en este caso plasma. Y procedemos a configurar.



6. Se procede a configurar la operación de corte por plasma



7. Generar el archivo a mecanizar



8. Se guarda el archivo para su posterior trabajo.

ANEXO F

Instrucciones para uso de la máquina

1. Verificar las conexiones eléctricas y electrónicas de la máquina tanto de la cortadora plasma, compresor de aire y ordenador.
2. Encender el sistema de control implementado y verificar el desplazamiento de los ejes.
3. Colocar el material a ser mecanizado
4. Subir el archivo creado en formato .gcode o .dxf. Por medio del servidor web, digitando en un navegador web la dirección IP a la que corresponde el servidor. O por medio del ordenador y a través del programa bCNC cargar los archivos a mecanizar.
5. Encender los equipos de compresión de aire y cortadora plasma, además de verificar los niveles de corriente para el material a mecanizar.
6. Colocar o setear en las coordenadas que desee iniciar la máquina
7. Iniciar el proceso de mecanizado