



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD GUZMÁN**

**TESIS**

**EQUIPO PARA MARCADO Y CORTE DE MATERIALES  
CON TECNOLOGÍA LÁSER y PLASMA**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

PRESENTA:

**ING. JOSÉ REFUGIO VILLASEÑOR SALVATIERRA**  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. RAMÓN CHÁVEZ BRACAMONTES**

CIUDAD GUZMÁN, JALISCO, MÉXICO. AGOSTO DE 2020

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios** por darme la vida, la fe, la fuerza y el carácter para este proyecto de vida, porque me ha acercado a las personas correctas en el momento y lugar correcto, gracias señor Dios.

A mis **maestros, amigos y compañeros; Humberto, Ramón, Sergio, Ezequiel, Jesús, Jaime, Abel, Gonzalo** por su apoyo, conocimiento y amistad incondicional para lograr este objetivo profesional.

Al **CONACYT** y al **Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán** por la oportunidad, el apoyo económico y el proceso que me permitió estar en esta institución.

Especialmente a mi director de tesis **Dr. Ramón Chávez Bracamontes**, porque fue un reto para ambos el adaptarme al proceso y cumplir con los requerimientos necesarios para el buen término de este trabajo.

A **Holos Industrial** mediante **Guillermo de Anda y Edgar Eduardo Álvarez** con quienes se visualiza el proyecto y objetivo, brindando las facilidades para su posterior consecución y resultado.

**Desde lo mejor de un servidor, muchas gracias a todos.**

## DEDICATORIA

A mi esposa y compañera **Bertha Alicia Ochoa Virgen** por ser parte de mi vida

Quién con gran paciencia, confianza, amor y sabiduría me otorgó

el apoyo para emprender este proyecto profesional.

Un paso más en nuestra vida de pareja.

A mis hijos **José Refugio, Andrea y Gabriel Alejandro.**

Con el objetivo de ser parte constructora y ejemplo en

su caminar por la vida, en lo personal y profesional

A nuestras familias y amigos que son espectadores de  
nuestro desarrollo al caminar en el tiempo y enfrentar la vida

**Esposa, familia, amigos, muchas, muchas gracias**

**Con su apoyo lo he logrado.**

## RESUMEN

En esta tesis se presenta el diseño y construcción de una máquina para corte y marcado de materiales mediante tecnología láser y plasma, controlado por software CNC Open Source y hardware de uso libre.

Se describe la preparación y manipulación de una imagen en bits, a un programa de trayectorias o conversión en código G hace posible el control y posicionamiento bajo trayectorias inscritas dentro de un plano XY con una altura que es determinada por el grosor de material a procesar en la cama o área de trabajo entre 1 y 3000 cm<sup>2</sup>, en los límites de 0 - 50 cm para el eje X y 0 - 60 cm para el eje Y, ejecutado por un sistema mecatrónico a tres grados de libertad que es comunicado y controlado a través de una interfaz compuesta por diferentes dispositivos de hardware entre ellos una computadora, una tarjeta Arduino Uno, una tarjeta Shield CNC, una fuente de voltaje, un láser o un plasma.

El equipo se puede operar de forma manual o automática. El rayo láser que se utiliza tiene una potencia variable entre 0-5.5 W a través de una señal de control entre 0-50 KHz. El plasma se produce por una reacción electrostática en un espacio semicerrado que contiene aire comprimido a cierta presión y voltaje.

El desarrollo del equipo puede ser escalable a uso industrial con aplicaciones de alta potencia láser y plasma para corte y marca de materiales metálicos y no metálicos, como acero inoxidable, MDF, madera, acrílico, piel, plástico, tela entre otros.

## ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of a machine for cutting and marking materials using laser and plasma technology, controlled by Open Source CNC software and free use hardware.

The preparation and manipulation of an image in bits is described, to a trajectory program or conversion in G code it makes possible the control and positioning under trajectories inscribed within an XY plane with a height that is determined by the thickness of material to be processed in the bed or work area between 1 and 3000 cm<sup>2</sup>, in the limits of 0 - 50 cm for the X axis and 0 - 60 cm for the Y axis, executed by a mechatronic system at three degrees of freedom that is communicated and controlled to through an interface composed of different hardware devices including a computer, an Arduino Uno board, a Shield CNC board, a voltage source, a laser or a plasma. The equipment can be operated manually or automatically. The laser beam used has a variable power between 0-5.5 W through a control signal between 0-50 KHz. Plasma is produced by an electrostatic reaction in a semi-enclosed space that contains compressed air at a certain pressure and voltage.

The development of the equipment can be scalable to industrial use with high power laser and plasma applications for cutting and marking of metallic and non-metallic materials, such as stainless steel, MDF, wood, acrylic, leather, plastic, fabric, among others.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLA DE FIGURAS</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo I Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	<b>6</b>
1.1.1 Misión .....	7
1.1.2 Visión .....	7
1.1.3 Objetivos corporativos de Holos Industrial .....	7
1.1.4 Problemática de Holos Industrial .....	8
1.1.5 Área de oportunidad Holos Industrial .....	8
1.1.6 Área de oportunidad ITCG.....	8
<b>1.2 Planteamiento del proyecto</b> .....	<b>9</b>
1.2.1 Definición del problema.....	9
1.2.2 Justificación .....	9
1.2.3 Objetivo .....	10
1.2.4 Hipótesis .....	10
<b>Capítulo II Fundamentos teóricos</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Definición de laser</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2 Laser de gas</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Láser de CO <sub>2</sub> .....	18
2.2.2 Generación de radiación láser en CO <sub>2</sub> .....	19
2.2.3 Construcción de un láser de CO <sub>2</sub> .....	21
<b>2.3 Focalización del laser</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4 Potencia de láser</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5 Plasma</b> .....	<b>25</b>
2.5.1 Definición.....	25

2.5.2 Generación de plasma.....	26
2.5.3 Condiciones de uso de un plasma .....	27
<i>Determinación de espesor del metal a cortar.....</i>	27
<i>Velocidad de corte óptima.....</i>	28
<i>Arranque en alta frecuencia.....</i>	28
<i>Cuidados de uso y puesta en marcha .....</i>	29
<i>Seguridad .....</i>	29
<i>Perforando la pieza .....</i>	29
<b>2.6 Software del Sistema .....</b>	<b>30</b>
2.6.1 Software de uso libre .....	30
2.6.2 Software de diseño grafico .....	32
2.6.3 Software de generación de código G.....	34
2.6.4 Software de control Arduino GRBL .....	35
2.6.5 Sistema CNC .....	37
2.6.6 Programación CNC .....	40
2.6.7 Estructura de un programa CNC.....	45
2.6.8 Comandos básicos de operación para Arduino mediante CNC.....	48
2.6.9 Preparación de imagen para procesamiento.....	50
2.6.10 Preparación de imagen para grabado o corte .....	64
<b>2.7. Plataforma de uso libre .....</b>	<b>67</b>
2.7.1 Arduino.....	67
2.7.2 Hardware de código abierto y extensible.....	68
2.7.3 Controlador del motor a pasos.....	70
2.7.4 Acoplamiento del Hardware .....	72
2.7.5 Ventajas del uso de software libre .....	72
2.7.6 Motores a pasos .....	73
2.7.7 Control de motores a paso con Arduino.....	75
<b>Capítulo III Diseño e implementación .....</b>	<b>77</b>
3.1 El sistema electromecánico.....	79
3.2 Interfase mecatrónica .....	80
<b>Capítulo IV Resultados y Conclusiones.....</b>	<b>84</b>

<b>4.1 Introducción.....</b>	<b>85</b>
<b>4.2 Caracterización del sistema .....</b>	<b>87</b>
4.2.1 Sistema electromecánico .....	87
4.2.2 pruebas realizadas al equipo.....	89
4.2.3 Resultados de pruebas de marcado y corte .....	92
<i>Pruebas de marcado</i> .....	92
<i>Pruebas de corte</i> .....	92
<b>4.3 Discusión y Conclusiones .....</b>	<b>94</b>
4.3.1 Principales aportaciones de la tesis .....	94
4.3.2 Principales resultados .....	94
<b>4.2.5 Participación en eventos académicos .....</b>	<b>96</b>
<b>4.2.4 Participación en congresos académicos y publicación de artículos .....</b>	<b>99</b>
<b>4.2.5 Trámites ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.....</b>	<b>101</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>103</b>
<b>Capítulo V Anexos.....</b>	<b>104</b>
<b>A Documentos oficiales para el trámite de grado .....</b>	<b>105</b>
<b>B Documento de convenio entre la empresa Holos Industrial y el ITCG .....</b>	<b>106</b>

# TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Corte Láser .....	13
Figura 2. Diodo láser .....	13
Figura 3. Absorción .....	15
Figura 4. Emisión espontánea .....	15
Figura 5. Amplificación de fotones por emisión estimulada .....	17
Figura 6. Vibración simétrica.....	19
Figura 7. Vibración por flexión .....	20
Figura 8. Vibración asimétrica.....	20
Figura 9. Niveles de un láser de CO <sub>2</sub> .....	20
Figura 10. Componentes de un rayo láser .....	21
Figura 11. Láser de CO <sub>2</sub> .....	22
Figura 12. Focalización láser .....	22
Figura 13. Campo de trabajo o Raleigh.....	23
Figura 14. Área de potencia óptima de láser .....	24
Figura 15. Estados de la materia .....	25
Figura 16. Creación de plasma .....	26
Figura 17. Conducción eléctrica de plasma.....	27
Figura 18. Logotipo del software Inkscape .....	32
Figura 19. Pantalla de Inkscape.....	33
Figura 20. Logo de la plataforma Gcode .....	34
Figura 21. Pantalla control Gcode Sender.....	34
Figura 22. Pantalla Gcode Sender.....	35
Figura 23. Ubicación de la opción Importar .....	50
Figura 24. Explorador de archivos .....	50
Figura 25. Importación de imagen.....	51
Figura 26. Posición de la imagen .....	51
Figura 27. Ubicación de la opción Propiedades del documento .....	52
Figura 28. Propiedades del documento .....	52
Figura 29. Ubicación de la opción Vectorizar mapa de bits .....	53
Figura 30. Vectorizar mapa de bits.....	53
Figura 31. Vista de la opción Corte de luminosidad .....	54
Figura 32. Vista de la opción Detección de bordes.....	54
Figura 33. Vista de la opción Cuantización de colores.....	55
Figura 34. Separación de imagen en píxeles y bits .....	55
Figura 35. Eliminación de la imagen en píxeles .....	56
Figura 36. Posicionamiento en el origen de la imagen en bits.....	56
Figura 37. Imagen en bits con trayectos .....	57
Figura 38. Ubicación de la opción Objeto a trazo.....	57
Figura 39. Ubicación de la opción Offset dinámico .....	58
Figura 40. Eliminación de los trazos con la opción Offset dinámico .....	58
Figura 41. Ubicación de la opción Puntos de orientación .....	59
Figura 42. Puntos de orientación .....	59
Figura 43. Resultado al poner los puntos de orientación .....	60

Figura 44. Ubicación de la opción Biblioteca de herramientas .....	60
Figura 45. Ventana de Biblioteca de herramientas .....	61
Figura 46. Información básica de corte.....	61
Figura 47. Editar diámetro .....	62
Figura 48. Ubicación de la opción Trayectoria a GCode .....	62
Figura 49. Trayecto a GCode pestaña Preferencias .....	63
Figura 50. Trayectoria a Gcode pestaña Opciones .....	63
Figura 51. Trayecto final a Gcode.....	64
Figura 52. Resultado final con vectores.....	64
Figura 53. Ubicación de la opción Open Gcode file .....	65
Figura 54. Explorador de archivos .....	66
Figura 55. Visualización del diseño a marcar o cortar .....	66
Figura 56. Ubicación de la opción Connect.....	67
Figura 57. Conexión exitosa .....	67
Figura 58. Placa Arduino uno .....	69
Figura 59. CNC Shield placa para Arduino uno.....	69
Figura 60. Controlador A4988 .....	70
Figura 62. Acoplamiento del Hardware .....	72
Figura 63. Motor a pasos M17 .....	75
Figura 64. Bobinado de motor a pasos M17 .....	76
Figura 65. Esquema modular del Equipo .....	78
Figura 66. Diseño propuesto. ....	79
Figura 67. Interfase mecatrónica.....	80
Figura 68. Procesamiento de imagen .....	82
Figura 69. Pantalla control G-code Sender.....	82
Figura 70. Equipo proyectado .....	85
Figura 71. Sistema electromecánico.....	87
Figura 72. Mecanismo del eje Z.....	87
Figura 73. Mecanismo de los Ejes X y Y .....	88
Figura 74. Acoplamiento de ejes.....	88
Figura 75. Pantalla de control en operación. ....	89
Figura 76. Proceso de corte en MDF.....	90
Figura 77. Proceso de marcado .....	90
Figura 78 a, b. Pruebas de corte en papel blanco. 36 kg.....	91
Figura 79. Prueba de marcado de MDF 3mm.....	91
Figura 80. Imagen en bits con vectores de referencia.....	93
Figura 81. Diseño marcado en madera por máquina láser .....	93
Figura 82. Prototipo a escala pequeña para marcado y corte con láser .....	95
Figura 83. prototipo estandarizado con actuador de plasma .....	95
Figura 84. Presentación del proyecto en el stand “Etapa Regional” .....	96
Figura 85. Presentación del proyecto “Etapa Nacional” .....	97
Figura 86. Constancia de participación ENEIT 2019 “Etapa Nacional” .....	97
Figura 87. Constancia de participación en conferencia de divulgación en cecytej zapotiltic. ....	98
Figura 88. Artículos publicados en 2019. ....	99
Figura 89. Artículo publicado en 2018. ....	100

Figura 90. Resultados de la búsqueda del estado del arte.....	101
Figura 91. Carta de aceptación de impresión de tesis. ....	105
Figura 92. Extracto inicial del convenio de colaboración entre la empresa Holos y el ITCG. ....	106
Figura 93. Extracto final del convenio de colaboración entre la empresa Holos y el ITCG. ....	107

# **Capítulo I**

## **Introducción**

---

# INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia la labor educativa del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (ITCG) a través de su área de posgrado con la Maestría en Ingeniería Electrónica, que busca la integración de graduandos en la industria mexicana, con el objetivo de brindar soluciones inmediatas a los problemas de la pequeña y mediana industria, en su papel transformador económico-tecnológico y social de nuestra región.

La presente tesis es fruto de un convenio marco de colaboración académica, científica y tecnológica entre el ITCG y la empresa Ingeniería, Procesos y Envasado S de R.L. de C.V. conocida comercialmente como Holos Industrial (Anexo B), la cual es una pequeña empresa (MiPyME) nacional en crecimiento con desarrollos de Ingeniería, control y automatización de procesos industriales para diferentes sectores de la industria, entre ellos el médico, farmacéutico, alimentos y bebidas, química, minera, automotriz, entre otras, buscando ser líder en transformación de materiales a producto terminado en aplicaciones metal-mecánica, mediante equipamiento, aplicaciones de control a procesos industriales, solución a problemas para envasado en líquidos y sólidos, etiquetado de productos y su valor agregado en el diseño y fabricación de equipamiento industrial.

Holos Industrial tiene el compromiso de calidad y con ella nace una idea de construir un equipo para corte y marcado de materiales, escalable a un equipo de características industriales, en tamaño adecuado y competitivo a equipos existentes en el mercado nacional pero de fabricación extranjera, que será destinado al procesamiento de metales por parte de la empresa, mediante corte de partes metálicas a diferentes calibres y otros materiales, como de marcado o grabado de logotipos, códigos de barra y números de parte, que agreguen valor, faciliten y mejoren sus procesos de fabricación.

Sus necesidades involucran alta tecnología en corte, con la característica de precisión, rapidez, costo, repetibilidad y por supuesto calidad, con el objetivo de evolucionar y ser más rentable y competitiva.

Actualmente existen tecnologías que reúnen estas características, tres de ellas en particular son: corte por láser, corte por plasma y corte mediante chorro de Agua.

El presente trabajo está enfocado a dos tecnologías, la primera, corte con tecnología láser, utilizado muy satisfactoriamente en el mercado de materiales y productos obtenidos por el procesamiento industrial de partes y refacciones metálicas entre muchas otras, la segunda corte de materiales con plasma de características más agresivas, pero de calidad adecuada para cierta manufactura de partes mecánicas con menor precisión.

## 1.1 ANTECEDENTES

Holos Industrial es una compañía 100% mexicana, dedicada a la fabricación y venta de maquinaria para procesos y envasado. Con 12 años de experiencia dentro de la industria mexicana, implementa soluciones de automatización de procesos y maquinaria. Teniendo como uno de sus pilares fundamentales; la creatividad en el desarrollo de sus implementaciones, productos y servicio busca marcar tendencias en innovación de soluciones para sus clientes en los diferentes procesos en que se involucra. Para Holos Industrial, la implementación de soluciones es una muestra de compromiso por la calidad y la satisfacción del cliente, como lo muestra su misión y visión; va mucho más allá, que solo vender maquinaria o equipos.

### 1.1.1 MISIÓN

Fabricar maquinaria cumpliendo estándares de calidad mundial, ofreciendo el mejor servicio para satisfacer las necesidades de nuestros clientes teniendo una solución integrada que agilice los procesos y reduzca los costos.

### 1.1.2 VISIÓN

Ser una empresa altamente competitiva y a la vanguardia, que brinde soluciones de procesos y envasados confiables y productivos, que alcance sus metas y se desarrolle de manera que podamos posicionarnos como líderes en el mercado.

### 1.1.3 OBJETIVOS CORPORATIVOS DE HOLOS INDUSTRIAL

Para Holos es muy importante ser congruente con su Misión y Visión, que busca, ante todo:

- Cumplir estándares de calidad mundial.
- Ofrecer Soluciones integradas.
- Reducción de costos.
- Ser altamente competitiva y estar a la vanguardia.
- A la vez mantener un compromiso consigo misma y con sus clientes en mantener procedimientos de manufactura de vanguardia y competitivos.

Como parte de las actividades naturales en el proceso de fabricación de equipos, requiere de la maquila por terceros en cortes de metal, para la fabricación de los diferentes diseños, requeridos por sus clientes.

Los requerimientos de calidad en fabricación, el mercado, la competencia, exigen el cumplimiento de complejos requerimientos con alto grado de dificultad para la fabricación, que por métodos convencionales de manufactura es imposible de alcanzar en tiempo, forma y a un costo competitivo.

#### 1.1.4 PROBLEMÁTICA DE HOLOS INDUSTRIAL

- No se cuenta con un equipo para realizar cortes de alta precisión con alta calidad de acabado que favorezcan las aplicaciones específicas de volumetría, peso, temperatura, sujetas a una normatividad nacional.
- Cortes con alto grado de dificultad en fabricación de partes y refacciones de un equipo.
- Cuidado del medio ambiente en la fabricación de estas piezas por ahorro de energía.
- Seguridad del personal que labora en la empresa.
- Altos costos en la maquila de los cortes para la fabricación de equipos requeridos por sus clientes.

#### 1.1.5 ÁREA DE OPORTUNIDAD HOLOS INDUSTRIAL

Construir un equipo para corte de metal con alta tecnología en el grabado y corte de materiales que incluya el corte de metales.

#### 1.1.6 ÁREA DE OPORTUNIDAD ITCG

Ser parte activa de soporte en la solución de problemas que implican la implementación de tecnología en la industria mexicana mediante un convenio marco de colaboración académica, científica y tecnológica.

Aplicación y generación de conocimientos, experiencia de asesores y estudiantes de nivel maestría para la incorporación de avances científicos y tecnológicos que contribuyan al desarrollo nacional y regional.

Fomentar la colaboración entre la industria nacional particularmente Holos Industrial y el Instituto Tecnológico con la implementación, la ingeniería, el desarrollo y fabricación de un equipo prototipo para marcado y corte de materiales con tecnología láser y plasma controlado por software CNC open source y hardware de uso libre.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

### 1.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Cómo construir un equipo prototipo, para procesamiento de materiales que utilice alta tecnología en corte, que permita hacer el grabado de cualquier tipo de imagen o símbolo, que sea fácil y seguro de operar, que tenga alto grado de precisión y repetibilidad, manejable en un ambiente Windows, mediante software libre en diseño gráfico y de control CNC, con plataforma open source, que sea económico y compatible con equipos industriales existentes en el mercado.

### 1.2.2 JUSTIFICACIÓN

Este desarrollo mecatrónico involucra diferentes áreas de conocimiento, como Electricidad, mecanismos, óptica, neumática, informática y electrónica.

Para obtener un sistema mecatrónico de corte y marcado de materiales, con alta precisión, velocidad, ecológico y sustentable con el medio ambiente, controlado por un sistema computarizado CNC que optimizará su uso en el corte de materiales como el acero u otros materiales más blandos que tenga una baja generación de residuos y ahorro de energía es necesario:

1. El uso de software open source y plataformas o hardware electrónico también de uso libre con ello se disminuirá significativamente el costo en la construcción del prototipo.
2. El sistema electromecánico será constituido por un sistema estándar cartesiano XYZ, el cual controlará la posición del cabezal a utilizar sea plasma o láser, durante una acción de corte o marcado.
3. Dispositivo laser para el corte y grabado de materiales incluidos metales.
4. Dispositivo plasma para corte de metales.

Este equipo será compatible con equipos que utilizan tecnología láser o plasma, existentes en el mercado y de fabricación extranjera con un alto costo económico de marca propia que lo obliga al uso de software gráfico creación y propiedad del fabricante, lo que incrementa el costo y limita el uso a un equipo, además del uso de licencias y actualizaciones por uso de software que agregan un costo mayor.

### 1.2.3 OBJETIVO

Desarrollar y construir un equipo prototipo para marcado y corte de materiales con tecnología láser y plasma, controlado por software CNC open source y hardware de uso libre de alta precisión ecológico y sustentable con el medio ambiente.

### 1.2.4 HIPÓTESIS

Es posible construir un equipo mecatrónico capaz de recibir una imagen electrónica, reproducirla mecánicamente en un material mediante un plano cartesiano con alta precisión y repetibilidad, a través de pares ordenados de puntos representados  $(X_n, Y_n)$ , que, al ser unidos mediante líneas o vectores curvos y rectos, reproduzcan una forma o pieza mecánica idéntica a la imagen recibida. Que el equipo en cuestión sea capaz de llevar diferentes dispositivos que permitan reproducir la imagen como un marcado o como una pieza cortada y sean controlados de manera autónoma o manual.

# **Capítulo II**

## **Fundamentos teóricos**

---

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Hoy en nuestros días se cumplen 61 años de la aparición del primer Láser, en 1960 Ted Maiman demostró el primer láser funcional, desde entonces la tecnología láser ha crecido (Decanini,1988).

La constante evolución tecnológica de nuestra era exige ser competitivo en todas las áreas del conocimiento (Diaz, 2011). El desarrollo de robots cartesianos para aplicaciones industriales (Vergara, 2018) que mediante el sistema mecánico con determinado número de grados de libertad, un sistema informático soportado por software libre o no, un sistema electrónico que facilite la comunicación y control desde una computadora, que funciona entre otras cosas como interfase hombre máquina (Castillo, 2018), la ejecución en tiempo real de un trabajo que implica el corte de un material, la impresión o marcaje de un número de parte, un logotipo o simplemente una imagen (Castillo, 2018), que se quiera plasmar en un determinado material, será limitado solamente por la potencia del generador láser que se utiliza. El proceso de maquinado láser involucra la generación de luz con cierta característica de amplificación a una única longitud de onda o color específico, el corte con láser utiliza un haz de luz infrarroja o calor, concentrada en un punto pequeño que vaporiza o funde un agujero a través de una pieza de trabajo (Diaz, 2011). La profundidad y grosor de la ranura provocada por el láser está determinada por dos posibles variables, una la velocidad de desplazamiento del láser, la segunda por la potencia de concentración de la generación de luz en watts que es relacionado directamente con el elemento que la produce, ejemplo, CO<sub>2</sub>, He Ne, Argón, Diodo Láser (Figura 2) entre otros (Diaz, 2011).

La tecnología de mecanizado láser (Figura 1) se basa en la generación de un rayo láser de alta potencia que es dirigido contra una pieza de forma directa, o mediante un sistema de emisión, por espejos o fibra óptica de alta precisión. La zona de incidencia del rayo consigue una elevada densidad de potencia que

produce la fundición y vaporización del material, erosionando en múltiples capas logrando la geometría y profundidad deseadas (Diaz, 2011).

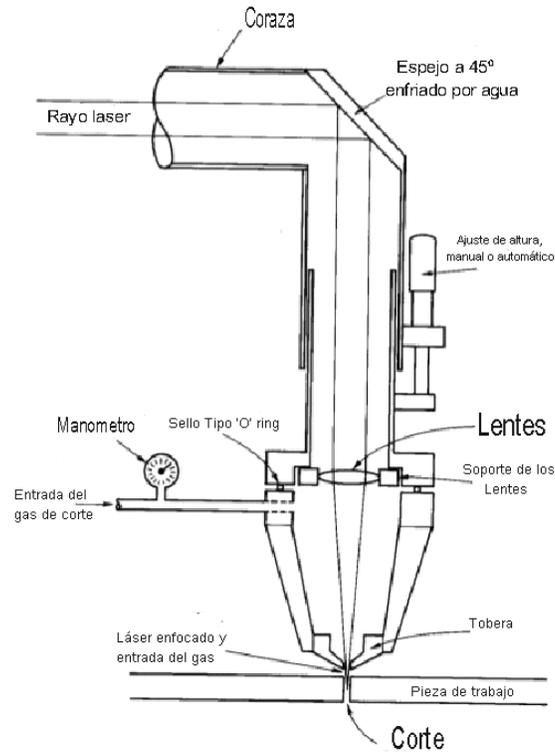


FIGURA 1. CORTE LÁSER

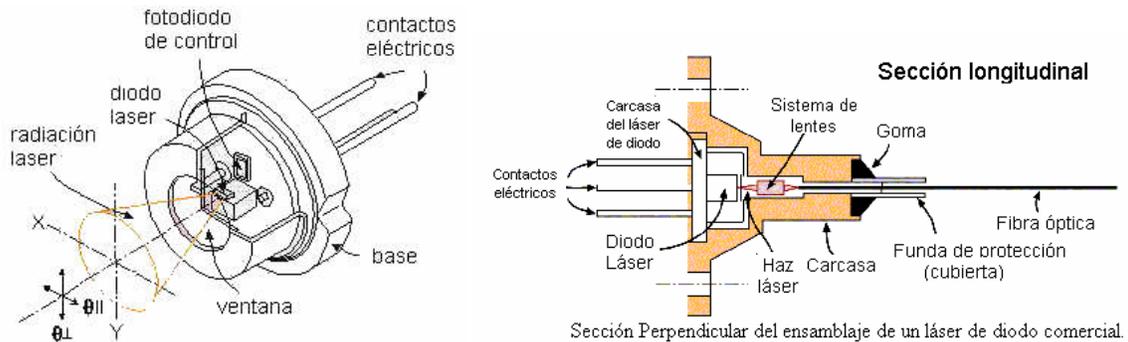


FIGURA 2. DIODO LÁSER

El láser infrarrojo tiene una longitud de onda larga y muy cercana a los niveles de vibración de algunos materiales, cuando estos absorben la energía se produce una rápida vibración del material y finalmente genera un calentamiento del material que induce a la fusión e incluso a la vaporización (Zacarias, 2010). El láser ultravioleta tiene una longitud de onda más corta, pero los fotones que genera tienen más energía, esto provoca que los fotones que se generan tengan suficiente energía como para romper la unión entre los átomos consiguiendo la sublimación del material por medio de la formación de plasma.

Los láseres de fibra tienen una longitud de onda menor a la del CO<sub>2</sub> sin embargo su longitud de onda es mejor absorbida por los materiales metálicos que la de CO<sub>2</sub> haciendo que se pueda aumentar mejor la velocidad de escaneo y por tanto el volumen del radio fundido por unidad de tiempo (Delgado, 2013).

## 2.1 DEFINICIÓN DE LASER

Por definición es un dispositivo que utiliza la emisión estimulada de radiación en un medio apropiado, para generar un haz de luz cuyas características especiales de monocromaticidad, coherencia, y direccionalidad se encuentran perfectamente controladas. Por sus siglas en inglés decimos: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación) (Álvarez, 2016).

Para entender el concepto de Laser, debemos introducirnos al interior del átomo y conocer su comportamiento. Los átomos son estables por que la energía que posee un electrón en cada una de sus órbitas se mantiene constante a lo largo de todo el movimiento, un cambio de orbita implica un cambio de energía en el electrón que se identifica como una transición entre niveles de energía.

De acuerdo con la física cuántica un electrón de un átomo no puede ocupar cualquier nivel de energía, solo puede ocupar un conjunto restringido de ellos, por lo que si el electrón ocupa un nivel inferior decimos que el átomo se encuentra en estado estable o fundamental, en cambio, si está en un nivel superior tendremos a un átomo en estado excitado.

La luz es capaz de inducir transiciones entre los niveles de energía del átomo mediante procesos de absorción Figura 3 y emisión Figura 4 (es decir cambios de energía entre los electrones del átomo). Dicho de otra forma, la luz contiene partículas (fotones) cuya energía es proporcional a la frecuencia de radiación, la absorción de luz es más eficiente cuando la energía de los fotones coincide con la diferencia entre dos niveles de energía del átomo, resultando en un número mayor de átomos excitados en el material, por el contrario, si la energía de los fotones no es suficiente para excitar la transición, la luz atraviesa el material sin ser absorbida.

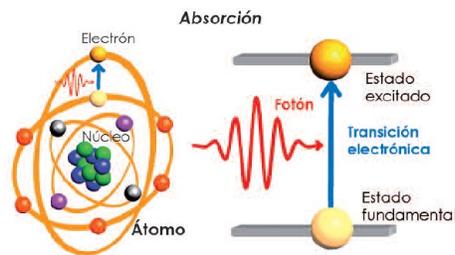


FIGURA 3. ABSORCIÓN

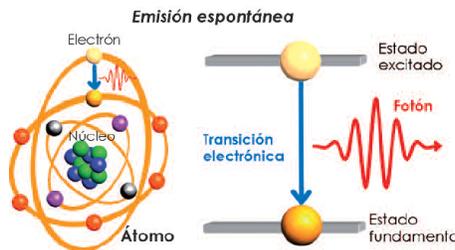


FIGURA 4. EMISIÓN ESPONTANEA

El proceso inverso también existe en la naturaleza, un electrón en estado de energía excitado es inestable y tarde o temprano decae a un nivel de energía inferior estable emitiendo un fotón cuya energía corresponde a la diferencia entre los dos niveles, a dicho proceso lo denominamos emisión espontánea, es la base de funcionamiento de las fuentes de luz.

Ahora, si un átomo excitado se encuentra en presencia de un campo electromagnético, ¿Que le pasa a dicho átomo?, Un fotón al incidir o interactuar con un átomo excitado puede provocar que éste pase a su estado fundamental emitiendo un nuevo fotón que se suma al que provocó la transición, a este proceso se le llama emisión estimulada, y su característica fundamental es que conserva propiedades idénticas al fotón inicial.

Originalmente la idea surge por Albert Einstein en 1917 con la teoría cuántica de la radiación. Que plantea un equilibrio térmico que consiste en una cavidad llena de luz y un número igual de átomos en el estado fundamental y excitado que pueden emitir y absorber radiación, dicho equilibrio se consigue cuando la absorción de fotones es, tan rápido como la emisión. La velocidad de absorción es proporcional al número de fotones y Einstein denominó a la constante de proporcionalidad coeficiente B. En condición de equilibrio, la velocidad de emisión debe ser idéntica a la absorción. Por tanto, la emisión debe venir descrita por el mismo coeficiente B, y será igualmente proporcional al número de fotones. Definiendo que la emisión sólo tiene lugar en presencia de un campo electromagnético, o que es tanto más eficiente cuando mayor sea el número de fotones. La emisión estimulada es por tanto más eficiente que la emisión espontánea que no necesita de la presencia de fotones. Ambos tipos de emisión están descritos por los coeficientes de Einstein A y B para la emisión espontánea, y estimulada respectivamente.

La emisión estimulada por un fotón provocará que un átomo se desexcite, añadiendo un nuevo fotón al campo de radiación. Este fenómeno puede derivar en un proceso de avalancha considerando que el número de fotones puede estimular

aún más la emisión en otros átomos excitados del medio. Precisamente, éste es el principio de la amplificación de luz por emisión estimulada. Figura 5.

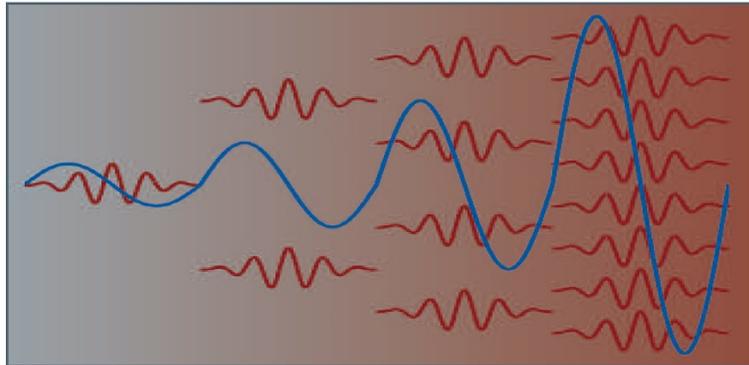


FIGURA 5. AMPLIFICACIÓN DE FOTONES POR EMISIÓN ESTIMULADA

## 2.2 LASER DE GAS

Existen Láseres que utilizan como medio activo un gas o una mezcla de gases. Estos tienen la ventaja de que el volumen del medio activo puede ser grande, a diferencia de los sólidos, limitados por el tamaño de los cristales. Además, suelen ser relativamente baratos y no sufren daños, otra ventaja es, su homogeneidad y la facilidad para refrigerarlos, o simplemente su transporte. Suelen estar compuestos por una mezcla de gases.

En los átomos, moléculas o iones de uno de ellos generalmente a muy baja presión se produce la inversión de población, el resto de sus componentes participan en el bombeo y la refrigeración del medio.

Los láseres de gas debido a que sus partículas tienen libertad de movimiento pueden excitarse de formas diversas, la más habitual es aplicando una descarga eléctrica al gas o mezcla de gases, los electrones que se mueven por la corriente

generada excitan a los átomos o moléculas del gas que a su vez colisionan entre ellos, lográndose la inversión de población.

Otro mecanismo de excitación habitual es la radiación electromagnética de baja frecuencia, radio frecuencia o microondas, que al ser absorbidas por el medio logra la inversión de población y finalmente se tienen el bombeo óptico por emisiones de luz que nos ayuda notablemente en la amplificación de radiación por el rebote constante de rayos incidentes en los espejos.

Podemos distinguir gases de tipo Neutro que es compuesto por átomos neutros como el Neón. Gases de tipo Ionizado, provocado por pérdida de electrones, creando iones cargados positivamente, en ellos tenemos al Argón. Gases de tipo Molecular que es formado por moléculas como el CO<sub>2</sub>.

Finalmente, gases de tipo Excímero, que son moléculas excitadas no estables en estado fundamental, formadas de vapor metálico, su medio activo contiene metal calentado en estado de vapor ejemplo el Vapor de cobre.

### 2.2.1 LÁSER DE CO<sub>2</sub>

Existen láseres que funcionan por transiciones entre niveles atómicos, otros que se basan en transiciones entre estados moleculares de vibración de rotación. Las moléculas compuestas por varios átomos tienen más grados de libertad que los átomos aislados, pueden oscilar y girar, y esos movimientos corresponden a niveles de energía, que también están cuantizados. Las transiciones entre estados vibracionales y rotacionales se producen a energías más pequeñas que las atómicas por lo que los láseres moleculares emitirán longitudes de onda más largas, en la frecuencia del infrarrojo medio o lejano.

El láser más importante es el de dióxido de carbono o CO<sub>2</sub>, cuya molécula tiene varios niveles vibracionales y rotacionales. Las transiciones entre algunos de estos niveles nos dan la emisión laser de CO<sub>2</sub> con líneas intensas en 9.6 y 10.6 micras.

En cuanto a las aplicaciones el láser de CO<sub>2</sub> en aplicaciones industriales se utiliza en procesamiento de materiales, corte, soldadura y perforado, además tiene aplicaciones en medicina y cirugía.

La longitud de onda de la luz proveniente del láser de CO<sub>2</sub> es fácilmente absorbida por la mayoría de los sólidos, una desventaja no puede ser conducida o transferida por cristal o fibra óptica, sino que requiere de espejos reflectantes de metal para manipular el rayo y materiales como seleniuro de zinc o arseniuro de galio para enfocar el lente.

### 2.2.2 GENERACIÓN DE RADIACIÓN LÁSER EN CO<sub>2</sub>

El bombeo se produce a través de otro gas, en este caso el nitrógeno, que transfiere la energía al CO<sub>2</sub> por colisiones. A veces se le añade helio, que al tener gran movilidad transfiere rápidamente el calor a las paredes y permite alcanzar potencias aún mayores. Un láser de este tipo puede alcanzar potencias de decenas de Kilovatios.

Los láseres de dióxido de carbono pueden ser sellados con la mezcla de gases encerrada en un tubo, o de flujo, en los que el gas fluye y se va renovando, con estos se consiguen potencias mucho más altas, pero su instalación es más compleja y cara.



FIGURA 6. VIBRACIÓN SIMÉTRICA

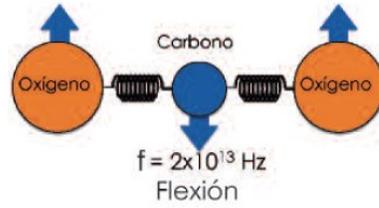


FIGURA 7. VIBRACIÓN POR FLEXIÓN



FIGURA 8. VIBRACIÓN ASIMÉTRICA

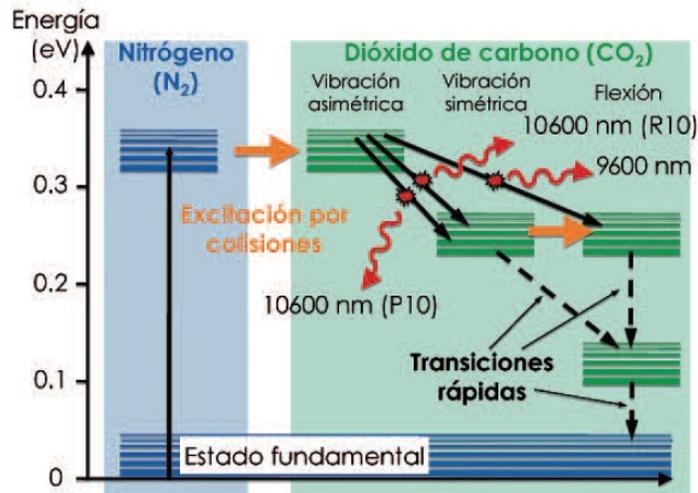


FIGURA 9. NIVELES DE UN LÁSER DE CO<sub>2</sub>

Los láseres de CO<sub>2</sub> permiten emitir una onda continua o en pulsos de duración variable, entre milisegundos y nanosegundos. La presión del gas también varía,

pudiendo llegar al de la presión atmosférica en algunos láseres pulsados, su calidad espacial suele ser muy buena sobre todo en potencias bajas.

El rendimiento del láser de  $\text{CO}_2$  es muy alto pudiendo convertir hasta un 30% de energía eléctrica a óptica, en contraste con la mayoría de los láseres, la potencia del láser aumenta con el tamaño del tubo, por lo que es frecuente tener tubos de varios metros.

Se necesita de un mecanismo mediante el cuál sea posible producir realimentación óptica y así mantener la ganancia del sistema por encima de todas las perdidas, esto se logra al limitar el medio entre dos reflectores para formar una cavidad resonante óptica Figura 10.

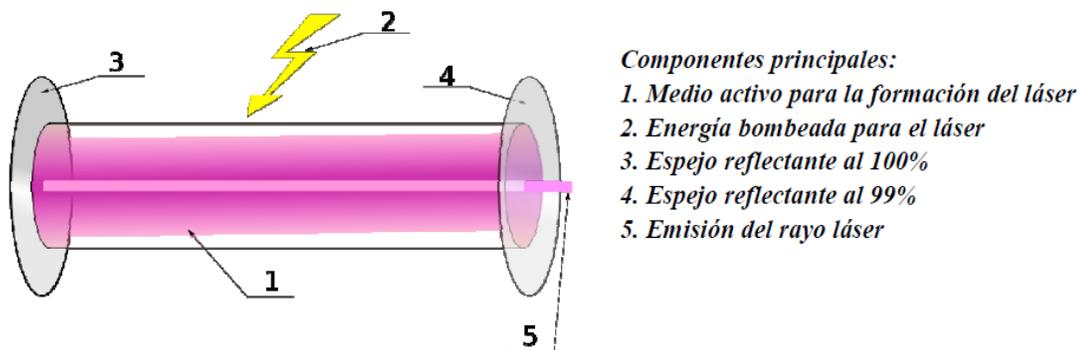


FIGURA 10. COMPONENTES DE UN RAYO LÁSER

### 2.2.3 CONSTRUCCIÓN DE UN LÁSER DE $\text{CO}_2$

El láser Figura 11. está formado por un núcleo que suele tener forma alargada donde se generan los fotones, el núcleo puede ser de forma cristalina por ejemplo un tubo de vidrio que contiene gases, por lo general dióxido de carbono, el dióxido de carbono generalmente posee electrones fácilmente excitables y que no emite de forma espontánea, si no que pueden quedar excitados durante un tiempo mínimo, es precisamente este intervalo de tiempo el que se necesita para que los electrones produzcan emisión estimulada no espontánea.

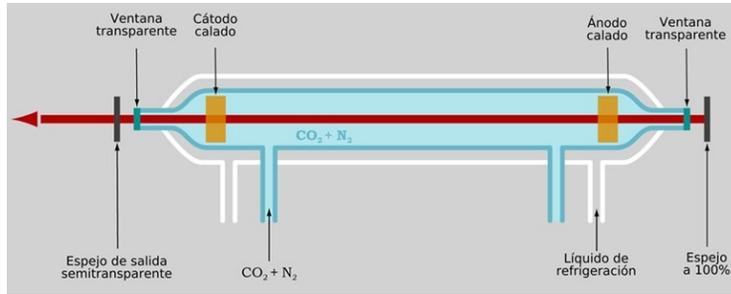


FIGURA 11. LÁSER DE CO<sub>2</sub>

### 2.3 FOCALIZACIÓN DEL LASER

El haz láser llega a través de una fibra óptica o a través de espejos para el CO<sub>2</sub> Figura 12. y para llegar al lugar de trabajo en ese punto el haz de luz es colimado con una lente de forma que la luz queda paralela es decir la luz es enfocada al infinito, posteriormente es enviada a una lente de focalización provocando su concentración a una distancia concreta (punto de focalización) de la lente.

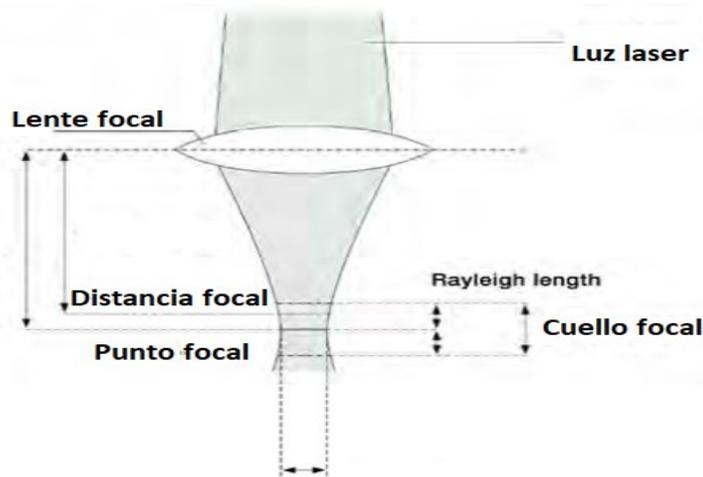


FIGURA 12. FOCALIZACIÓN LÁSER

El diámetro mínimo se encuentra en la focalización de la lente, donde se obtiene la mínima sección de luz láser ( $W_0$ ) figura 13. Existe un rango de trabajo denominado

campo Raleigh que está delimitado cuando la sección del haz es el doble de la sección mínima, se puede calcular por la altura que lo separa del foco.

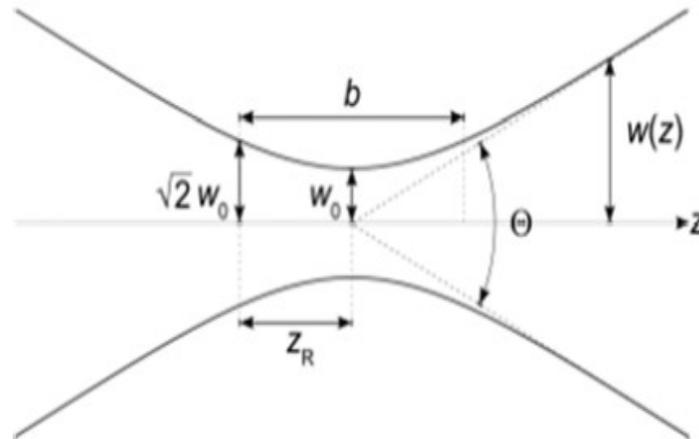


FIGURA 13. CAMPO DE TRABAJO O RALEIGH

Se calcula por medio de las ecuaciones.

$$\text{Campo de trabajo} \quad z_R = \frac{\pi \cdot r_0^2}{\lambda}$$

$$\text{Radio de luz Laser} \quad r(z) = r_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2}$$

La focalización es importante porque es la distancia donde se encuentra el punto más pequeño del haz en el plano perpendicular respecto de la lente de focalización, por tanto, es donde se tiene menor área para la misma cantidad de potencia, este fenómeno hace que la cantidad de energía sea más uniforme y que no exista una concentración en el centro del haz.

## 2.4 POTENCIA DE LÁSER

Un láser además del tipo y longitud de onda se caracteriza por su potencia. La potencia es la relación de energía que sale del haz láser por unidad de tiempo, es decir la cantidad de energía que es absorbida por el material como una absorción total en un tiempo determinado Figura 14.

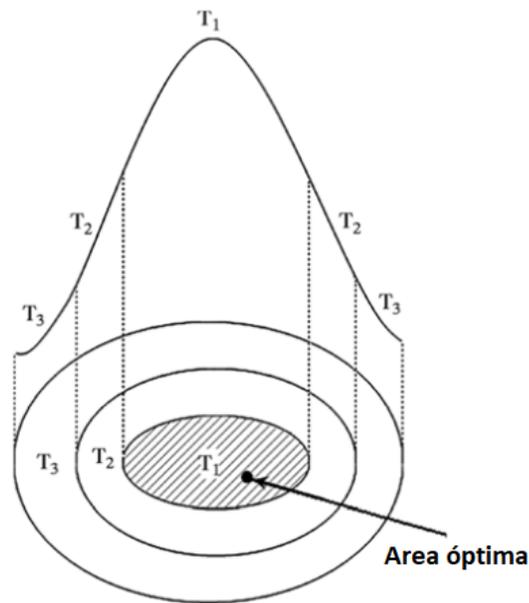


FIGURA 14. ÁREA DE POTENCIA ÓPTIMA DE LÁSER

Se puede observar que esta área puede ser modificada en función de la altura donde se trabaja.

## 2.5 PLASMA

### 2.5.1 DEFINICIÓN

Para definir la materia es común agruparla en sus distintos estados: Sólido, líquido y gaseoso, sin embargo, existe otro estado fundamental de la materia llamado plasma, que se presenta bajo ciertas condiciones.

La materia está hecha de átomos, esencialmente compuestos de protones (carga positiva), electrones (carga negativa) y neutrones (sin carga), al combinarse forman moléculas. Un átomo de gas típico contiene un número igual de cargas positivas y negativas, por lo que cada átomo es eléctricamente neutro. El plasma se forma cuando se adiciona calor u otra forma de energía a ese gas, provocando que varios átomos del gas liberen algunos de sus electrones al absorber la energía suministrada, dejando a estos cargados de forma positiva y los electrones separados se pueden mover libremente, en ese instante se dice que los átomos y el gas resultante queda ionizado teniendo una carga eléctrica positiva, al seguir suministrando energía provoca que al ionizarse suficientes átomos afecten significativamente las características eléctricas del gas convirtiéndolo en un gas ionizado y eléctricamente conductor, transformándolo en un Plasma del gas (Figura 15) en cuestión. El término plasma se dió al gas ionizado en 1929 por el Dr. Irving Langmuir químico y físico estadounidense.

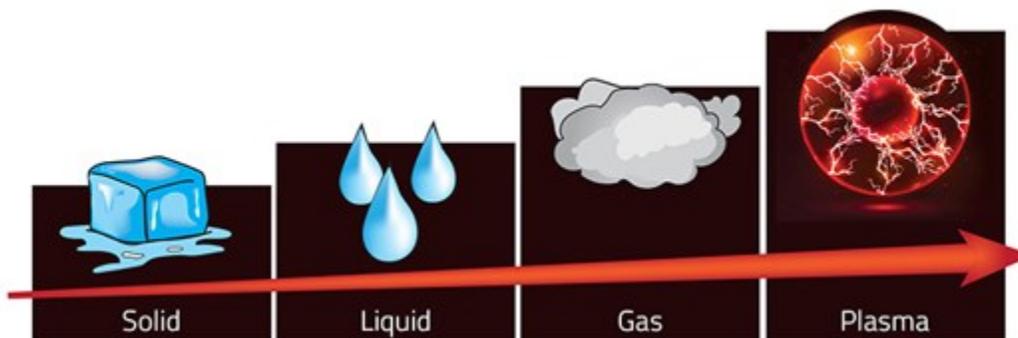


FIGURA 15. ESTADOS DE LA MATERIA

En 1954 se descubre que al aumentar el flujo de gas y al reducir la abertura de una boquilla utilizada en soldadura TIG (Soldadura por Arco por Gas) se obtiene un chorro de plasma, este es capaz de cortar metales dando lugar al corte de plasma como lo conocemos.

Este se crea al producir un arco eléctrico estrangulado a través de la sección de la boquilla del soplete, siendo sumamente pequeña concentrando la energía del gas empleado ionizándolo y por polaridad adquiere la propiedad de cortar, teniendo la capacidad de cortar aceros, metales conductores de electricidad.

### 2.5.2 GENERACIÓN DE PLASMA

La formación del arco de plasma (figura 16) comienza cuando un gas, como el oxígeno, el nitrógeno, el argón o incluso el aire, se fuerza a través de un pequeño orificio de la boquilla dentro de la antorcha. Un arco eléctrico generado a partir de la fuente de alimentación externa se introduce en este flujo de gas a alta presión, lo que resulta en lo que comúnmente se conoce como un "chorro de plasma". El chorro de plasma alcanza inmediatamente temperaturas de hasta 22000 °C.

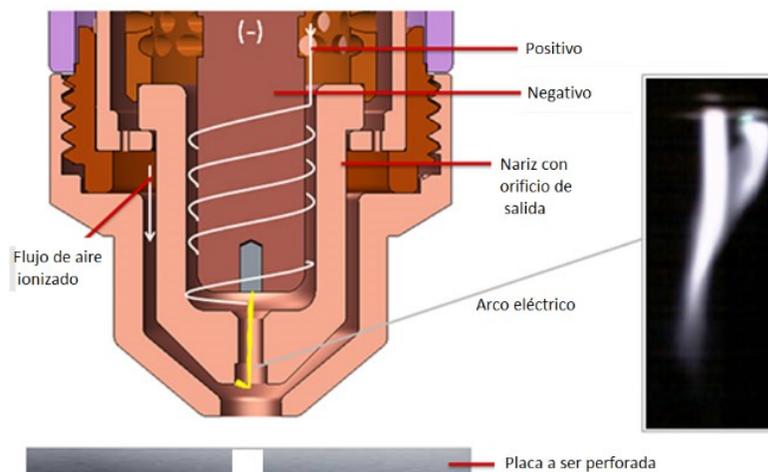


FIGURA 16. CREACIÓN DE PLASMA

La tecnología de corte por plasma 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 (Figura 17) desde la antorcha de plasma a la pieza de trabajo. El plasma calienta la pieza de trabajo, fundiendo el material. El flujo de alta velocidad del gas ionizado sopla mecánicamente el metal fundido, rompiendo el material.

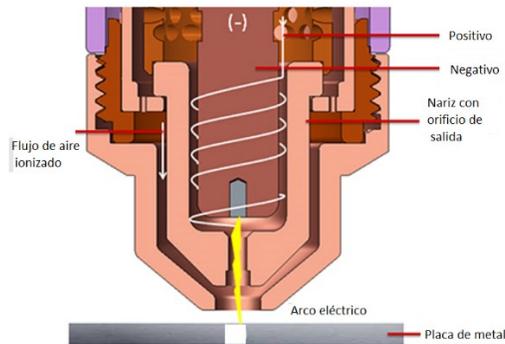


FIGURA 17. CONDUCCIÓN ELÉCTRICA DE PLASMA

El corte por plasma es ideal para acero, y material no ferroso de menos de 1 pulgada de espesor y se pueden hacer cortes no lineales fácilmente.

### 2.5.3 CONDICIONES DE USO DE UN PLASMA

#### *DETERMINACIÓN DE ESPESOR DEL METAL A CORTAR.*

Las fuentes de corriente de plasma se consideran por su capacidad de corte y amperaje. Si se corta a menudo  $\frac{1}{4}$ " de espesor de material, se debe considerar un corte por plasma de bajo amperaje. Si su corte más frecuente es  $\frac{1}{2}$ " de espesor se debe buscar una máquina de mayor amperaje, de no hacerse puede afectarse la calidad del corte. En general, a  $\frac{1}{4}$ " la máquina tiene aproximadamente 25 A de salida, a  $\frac{1}{2}$ " la máquina tiene 50-60 A de salida mientras que a  $\frac{3}{4}$ " - 1" la máquina tiene 80 A de salida.

#### *VELOCIDAD DE CORTE ÓPTIMA.*

Las velocidades de corte para todos los espesores de metales se miden en IPM (pulgadas por minuto). Para el corte de producción, una buena regla general es elegir una máquina que pueda manejar aproximadamente dos veces el grosor de corte normal, para ejecutar cortes en producción rápidos, largos y de calidad, en acero de ¼," se recomienda una máquina de clase 1/2" (60 A). Si va a realizar un corte largo en una configuración automatizada, asegúrese de comprobar el ciclo de la máquina. El factor marcha es el tiempo que puede cortar de forma continua sin refrigerar la antorcha o la máquina. Este está clasificado por un porcentaje de tiempo de diez minutos. Por ejemplo, un factor marcha 50 A al 60%, significa que puede cortar con 50 A de salida continuamente durante 6 minutos en un periodo de 10 minutos. Cuanto mayor sea el factor marcha, más tiempo puede cortar sin parar.

#### *ARRANQUE EN ALTA FRECUENCIA.*

Los equipos de plasma tienen un arco piloto que utiliza alta frecuencia para conducir la electricidad a través del aire. La alta frecuencia puede interferir con computadoras o equipos que se estén utilizando, por lo que se arma con una tobera al DC+ y el electrodo en el interior al DC-. Inicialmente, la boquilla y el electrodo se tocan físicamente. Cuando se aprieta el pulsador, la corriente fluye entre el electrodo y la boquilla, a continuación, el electrodo se separa de la boquilla y se establece un arco piloto. La transferencia del piloto al arco de corte se produce cuando el arco piloto se acerca a la pieza de trabajo. Esta transferencia es causada por el potencial eléctrico de la boquilla al trabajar. Un potencial de voltaje de la boquilla hace trabajar este mecanismo para la transferencia. Una gran resistencia en la trayectoria de la corriente del arco piloto ha creado esta potencia de voltaje. Esta potencia de voltaje afecta directamente a la altura a la que el arco puede transferir. Después de las transferencias del arco piloto al interruptor (relé o transistor) se utiliza para abrir la corriente actual.

#### *CUIDADOS DE USO Y PUESTA EN MARCHA*

- El suministro de aire comprimido está limpio de agua y aceite.
- Cambie consumibles que se desgastan rápidamente.
- Presión de aire correcta.
- El electrodo y la boquilla están en el lugar adecuado.
- Una buena conexión del cable de tierra a la parte limpia de la pieza.

#### *SEGURIDAD*

- Leer el manual de instrucciones para entender la máquina.
- Use camisas de manga larga y guantes durante el corte ya que se genera metal fundido durante el proceso de corte.
- Se requiere protección ocular tales como gafas oscuras o pantalla de soldadura para la protección de los ojos del arco durante el corte. Una oscuridad en el cristal de #7 a #9 es aceptable.

#### *PERFORANDO LA PIEZA*

Un usuario inexperto perfora la chapa directamente hacia abajo, en perpendicular (90 grados) a la pieza. Esto se traduce en metal fundido soplado de nuevo en la antorcha. Un mejor método es acercarse a la chapa en un ángulo (de 60 grados desde horizontal, 30 grados desde vertical) y entonces girar la antorcha a la posición vertical. De esta manera, el metal fundido es soplado fuera de la antorcha.

## 2.6 SOFTWARE DEL SISTEMA

### 2.6.1 SOFTWARE DE USO LIBRE

Código abierto (en idioma inglés open source) término con el que se conoce al software distribuido y desarrollado libremente. Su uso nació por primera vez en 1998 de la mano de algunos usuarios de la comunidad del Software libre, tratando de usarlo como reemplazo al ambiguo nombre original en inglés del software libre (free software). Free en inglés significa dos cosas distintas dependiendo del contexto: gratuidad y libertad. Lo cual implica, para el caso que nos ocupa, "software que podemos leer, modificar y redistribuir gratuitamente" (freeware|software gratuito) y, además, software libre, según la acepción española de libertad.

El término código abierto se usa en la actualidad por parte de programadores que no ofrecen software libre, pero, en cambio, sí ofrecen el Código fuente de los programas para su revisión o modificación previamente autorizada por parte de sus pares académicos.

Dada la anterior ambivalencia, se prefiere el uso del término software libre para referirse a programas que se ofrecen con total libertad de modificación, uso y distribución bajo la regla implícita de no modificar dichas libertades hacia el futuro.

Sin embargo, los programas de código abierto, que dan la libertad de mejorarlos, de los programas que simplemente tienen el código fuente disponible, previa restricciones sobre su uso o modificación.

Un término que pretende resolver posibles ambigüedades o confusiones que ambos términos generan es FOSS (free and open source software, software libre y de código abierto).

La idea bajo el concepto de código abierto es sencilla: cuando los programadores pueden leer, modificar y redistribuir el código fuente de un programa, éste

evoluciona, se desarrolla y mejora. Los usuarios lo adaptan a sus necesidades, corrigen sus errores a una velocidad impresionante, mayor a la aplicada en el desarrollo de software convencional o cerrado, dando como resultado la producción de un mejor software.

Al igual que el software libre, el código abierto u open source tiene una serie de requisitos necesarios para que un programa pueda considerarse dentro de este movimiento, éstos son:

- Libre redistribución: el software debe poder ser regalado o vendido libremente.
- Código fuente: el código fuente debe estar incluido u obtenerse libremente.
- Trabajos derivados: la redistribución de modificaciones debe estar permitida.
- Integridad del código fuente del autor: las licencias pueden requerir que las modificaciones sean redistribuidas sólo como parches.
- Sin discriminación de personas o grupos: nadie puede dejarse fuera.
- Sin discriminación de áreas de iniciativa: los usuarios comerciales no pueden ser excluidos.

Distribución de la licencia: deben aplicarse los mismos derechos a todo el que reciba el programa. La licencia no debe ser específica de un producto: el programa no puede licenciarse solo como parte de una distribución mayor. La licencia no debe restringir otro software: la licencia no puede obligar a que algún otro software que sea distribuido con el software abierto deba también ser de código abierto.

La licencia debe ser tecnológicamente neutral: no debe requerirse la aceptación de la licencia por medio de un acceso por clic de ratón o de otra forma específica del medio de soporte del software.

## 2.6.2 SOFTWARE DE DISEÑO GRAFICO

Inkscape Figura 18. es un software de vectores gráficos de calidad profesional para Windows, Mac OS X y GNU/Linux. Es usado por diseñadores profesionales y aficionados de todo el mundo para crear una gran variedad de gráficos como ilustraciones, iconos, logos, diagramas, mapas y diseños web. Inkscape es un software libre y de código abierto, que utiliza SVG (Scalable Vector Graphic), el estándar abierto de W3C, como formato nativo.

Inkscape tiene herramientas de dibujo sofisticadas con capacidades comparables a Adobe Illustrator, CorelDRAW y Xara Xtreme. Puede exportar e importar varios formatos de archivo, incluyendo SVG, AI, EPS, PDF, PS y PNG. Tiene funcionalidades muy fáciles de comprender, una interfaz sencilla, soporte multi-idiomias y está diseñado para ser extensible, los usuarios pueden personalizar las funcionalidades de Inkscape con sus múltiples extensiones.



FIGURA 18. LOGOTIPO DEL SOFTWARE INKSCAPE

Los tipos de formatos de archivo de imágenes más empleados son los Mapas de bits y las imágenes vectoriales:

- a) Mapas de bits permiten la modificación o retoque de fotografías. Cada bit es almacenado con su color, produciendo imágenes de gran tamaño en disco.
- b) El software Photoshop (comercial) o Gimp (código abierto) pueden generar archivos en formato de mapas de bits.

Las imágenes vectoriales permiten trabajar con gráficos como si se tratara de un dibujo lineal. Aquí no se almacena la información de los bits, sino la fórmula matemática que representa a esos gráficos, disminuyendo considerablemente el tamaño en disco si lo comparamos con el caso anterior. El software Illustrator (comercial) o Inkscape (de código abierto) permiten la manipulación de imágenes en formato vectorial. El formato con el que trabajan los programas de dibujo vectorial son SVG (Scalable Vector Graphics), un formato basado en XML que permite representar una descripción completa de los gráficos en dos dimensiones. Es un formato escalable y por tanto permite modificar el tamaño a nuestro gusto sin pérdida de calidad y esto hace que sea uno de los formatos de uso obligatorio para publicistas (Figura 19).

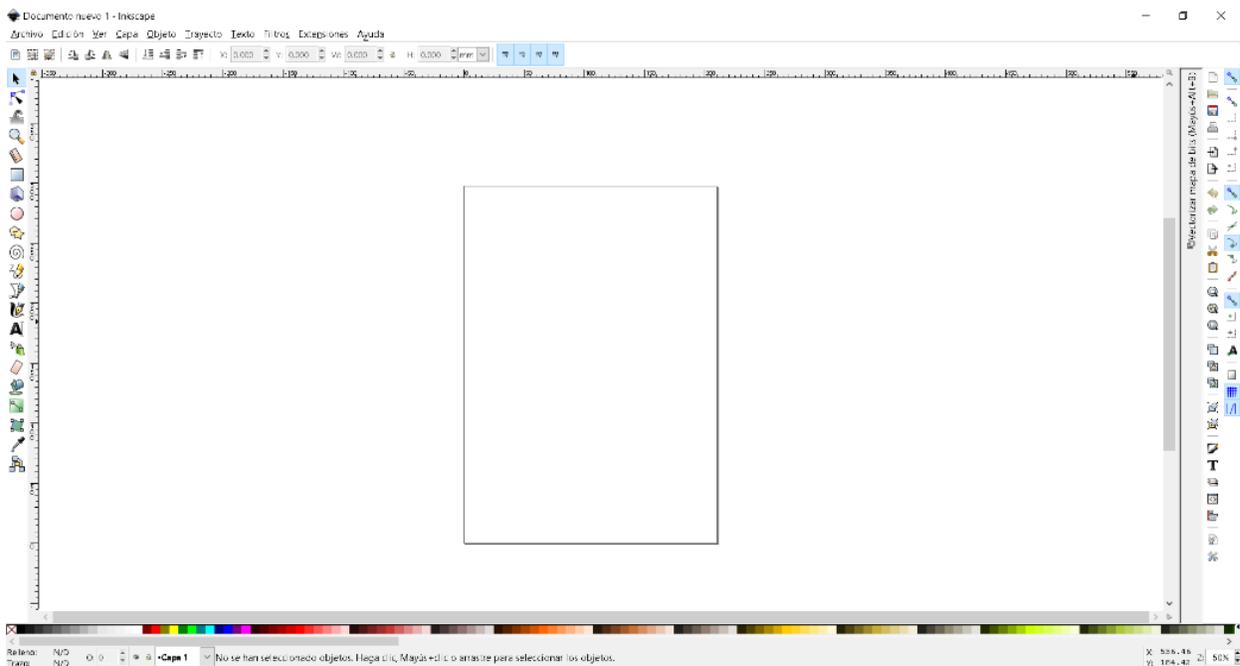


FIGURA 19. PANTALLA DE INKSCAPE

### 2.6.3 SOFTWARE DE GENERACIÓN DE CÓDIGO G

Gcode es una plataforma con todas las funciones que se utilizan para interactuar con controladores CNC avanzados como GRBL y TinyG . Universal Gcode Sender es una aplicación Java autónoma que incluye todas las dependencias externas, lo que significa que, si tiene la configuración de Java Run time Environment, UGS proporciona el resto (Figura 20).

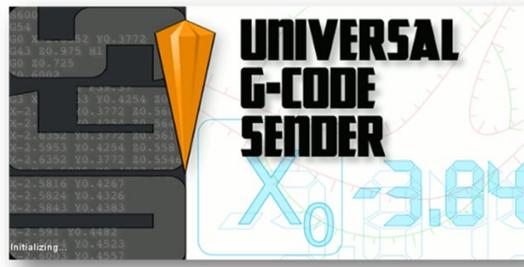


FIGURA 20. LOGO DE LA PLATAFORMA GCODE

El Gcode nos define los movimientos línea a línea. Avanza tantos centímetros a la derecha, ahora avanza en otra dirección, y así hasta terminar de cortar nuestra pieza. Una vez obtenido el código G mediante el software Inkscape, es el momento de utilizar el software Universal Gcode Platform para poder llevar a cabo el corte o marcado deseado (Figura 21 y 22).

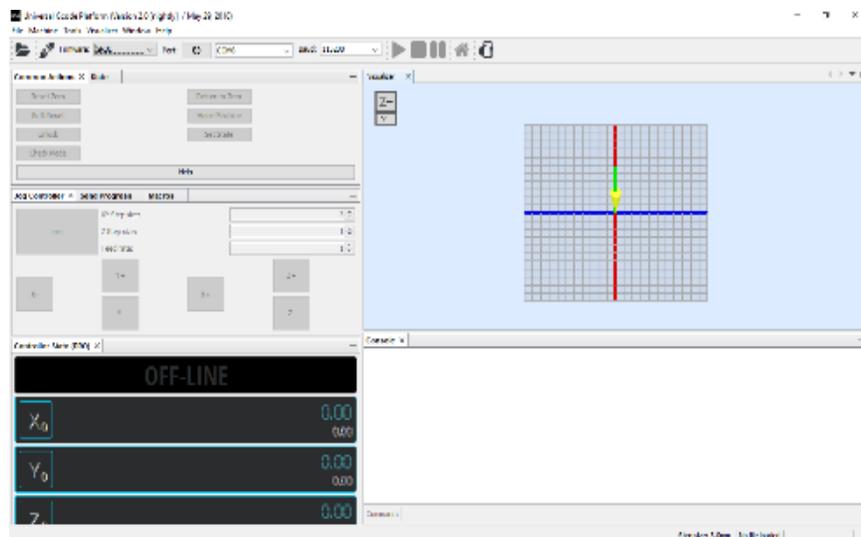


FIGURA 21. PANTALLA CONTROL GCODE SENDER

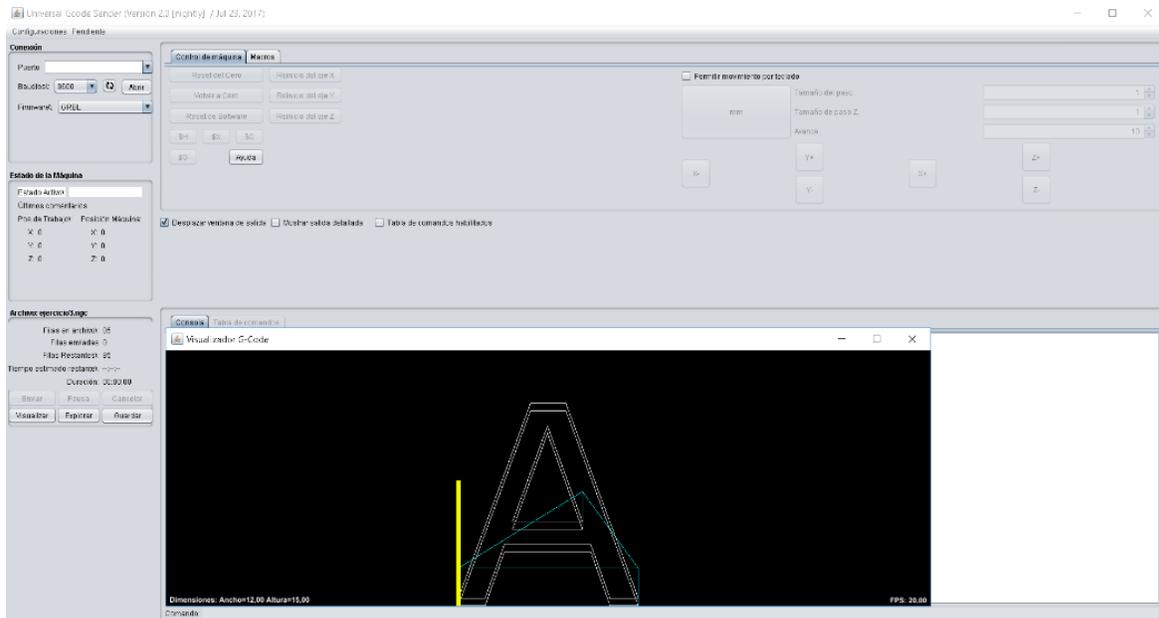


FIGURA 22. PANTALLA GCODE SENDER

#### 2.6.4 SOFTWARE DE CONTROL ARDUINO GRBL

GRBL es un firmware desarrollado por el noruego Simen Svale Skogsrud y está pensado para trabajar con los sistemas embebidos de Arduino Uno. Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable (McRoberts, 2010) y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de la máquina CPLaser de una manera muy sencilla.

La primera vez que pensamos en mover motores paso a paso, lo hacemos enviando un pulso para mover el motor. Pero aquí hay un problema: la inercia. Cuando el motor está parado, cuesta mucho trabajo hacer que la máquina pase de estar en reposo a estar en movimiento. Por este motivo, tenemos que ir acelerando poco a poco. Al principio del movimiento, el firmware va subiendo la velocidad poco a poco hasta llegar a la velocidad deseada, y ahí se mantiene hasta que va llegando

al final del movimiento. Entonces va decelerando poco a poco hasta que se para, o comienza un nuevo segmento. Hablamos de la aceleración en un movimiento sencillo, pero el GRBL va un paso más allá y calcula las aceleraciones según los movimientos futuros de la máquina. Una característica fundamental para que las líneas y las curvas sean suaves y fluidas.

Lo que hace el GRBL es convertir cada movimiento en una lista de trapecios. Este es el núcleo del algoritmo de GRBL. Despedazar los movimientos en trapecios para cada motor. Dividir los movimientos en una lista de líneas rectas y calcular la aceleración y frenada de cada segmento, en cada eje. La lista de trapecios se envía a la parte más importante del programa, la interrupción de timer, donde se transforman esos trapecios en pulsos, a una velocidad perfectamente definida para que los motores se muevan de forma coordinada. Todo esto se tiene que ejecutar de forma perfectamente sincronizada.

GRBL usa el algoritmo de Bresenham para calcular el movimiento de los ejes. Lo que hace GRBL es subdividir los movimientos rectos, y suavizarlos. Esto se nota especialmente cuando un eje es dominante en el movimiento. El único problema es que ahora hay una velocidad mínima de avance. Si la CNC necesita ir muy despacio (1 mm por minuto o algo así) entonces no podrás usar esta técnica, pero, el movimiento ya será suave de todos modos.

GRBL mantiene toda su configuración en la memoria EEPROM, que es una memoria permanente que llevan los microcontroladores de Arduino.

El código se compila sin problema desde el IDE de Arduino. Lo primero de todo es descargar el código fuente de GRBL desde github.com y descomprimir el ZIP.

Antes de utilizar el software Universal Gcode Platform, se debe programar la placa Arduino UNO tal que pueda leer el firmware GRBL. Para esto se descargará las librerías necesarias, en este link se deben descargar las librerías del portal: <https://arduinoboardproject.com/en/how-to-install-grbl-on-arduino-uno-with-the-arduino-ide-software/>

Se descargará un archivo en formato .zip con el nombre grbl-master. Una vez descargado el archivo y saber su ubicación, ejecuta el software IDE de Arduino para agregar las librerías. Dentro del software se encuentra la pestaña llamada “Programa”, al hacer clic izquierdo, se desplegará una serie de opciones en la cual ubicamos “Incluir librerías” y nuevamente se desplegarán diferentes opciones y selecciona la opción “añadir biblioteca .ZIP”.

Al seleccionar la opción de “añadir biblioteca .ZIP” se abrirá un explorador de archivos en el cual se debe ubicar el archivo descargado con el nombre grbl-master en formato .zip. Una vez ubicado da clic en la opción abrir.

#### 2.6.5 SISTEMA CNC

El uso de una máquina para llevar a cabo diversos tipos de tareas se remonta hasta hace varios siglos, específicamente a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX (Horath,1993), durante la revolución industrial, momento de la historia en el que se comenzaron a construir y utilizar diversos tipos de máquinas para los procesos de producción en las industrias.

Dando un gran salto en el tiempo, ya en el siglo XX, la industria requiere todo tipo de herramientas, aparatos y equipos que sirvan para agilizar, optimizar y mejorar los procesos productivos de una empresa. Gracias al avance de la ciencia y la tecnología cada vez es posible crear más y mejores equipos que sirven a estos propósitos y al mismo tiempo la industria requiere herramientas con capacidades y funciones cada vez más específicas para su uso en procesos particulares.

Entre los equipos especializados más utilizados actualmente en algunas industrias están las máquinas CNC, equipos altamente funcionales gracias a las implementaciones tecnológicas con las que cuenta, que los convierten en herramientas ideales para las industrias con grandes volúmenes de producción.

¿Pero a qué se refieren estas siglas? CNC significa Computerized Numerical Control o Control Numérico por Computadora, por su traducción al español, y se trata de un sistema que tuvo sus primeras implementaciones en la industria de la aviación, durante la Segunda Guerra Mundial, y su objetivo era mejorar la producción de piezas para aviones, helicópteros y avionetas, especialmente en aspectos de exactitud y precisión en el diseño, corte y ensamblaje, además de acelerar los procesos de producción.

El concepto como tal de Control Numérico por Computadora fue desarrollado y estudiado a fondo de manera más seria y formal en el Instituto Tecnológico de Massachussets o MIT (Massachusetts Institute of Technology) en 1949 y el principal objetivo de estos estudios fue crear una fresadora experimental que tuviera integrado un sistema CNC que la hiciera mucho más precisa.

Por supuesto, para la época esto resultó una tarea extremadamente compleja, ardua y que requería un gran presupuesto de dinero y de tiempo, pues se necesitó una gran cantidad de materiales, equipo y personal para poder llevar a cabo el proyecto.

Finalmente fue construido el aparato, llamado Fresadora Cincinnati Hydrotel con Husillo-Vertical, el equipo que representó el punto de partida para las máquinas CNC actuales. Aunque el éxito en el desarrollo de este equipo no fue inmediato, pues tuvo que ser modificado varias veces, sufriendo cambios de piezas y componentes e incluso modificaciones en su diseño.

Sin embargo, tomando en cuenta la complejidad que la tarea implicaba, lo cierto es que el proceso fue mucho más rápido de lo esperado, pues en 1951 se realizó el ensamblaje de las piezas y las primeras pruebas de uso, para 1953 ya se tenía información suficiente para poder perfeccionar el aparato y realizar implementaciones a otro tipo de equipos y para 1954 ya se habían publicado artículos sobre este gran avance tecnológico.

Así, en 1956 se creó y utilizó con éxito la primera máquina de Control Numérico por Computadora, lo que convenció a la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América a aceptar la propuesta para producir un lenguaje de programación CNC para ser implementado en las diversas aeronaves que utilizaba.

Como se puede suponer, la primera generación de estos equipos tenía que utilizar controladores de gran tamaño que consumían una gran cantidad de energía y que generaban una gran cantidad de calor. Los modelos de segunda generación tuvieron modificaciones que ayudaron a disminuir el consumo de energía, el tamaño de los equipos y la generación de calor, pero seguían siendo bastante grandes.

Otras diferencias de estos primeros modelos con las máquinas CNC actuales es que las primeras generaciones no tenían memoria, por lo que las instrucciones tenían que ser ingresadas desde una fuente externa, una por una hasta ingresar todos los comandos, lo cual implicaba un largo tiempo para el proceso de programación.

Con el paso del tiempo y con la implementación de este tipo de tecnología a muchos otros equipos y en muchos otros sectores de la industria, se pudo notar que la implementación y uso del Control Numérico por Computadora ofrecía la gran ventaja de ahorrar bastante dinero en los procesos de producción, razón por la que no tardó en hacerse popular.

De la misma forma en que sucedió con muchos otros tipos de equipos, tecnologías e implementaciones, con el paso del tiempo y el avance tecnológico, el sistema se fue perfeccionando, se fueron agregando funciones, capacidades y características sumamente útiles, hasta que se diseñaron, desarrollaron y comercializaron los equipos que se tienen en la actualidad.

Hoy en día, un tipo de equipos, con los que el sistema de Control Numérico por Computadora ha resultado altamente eficiente, mejorando los procesos, optimizado las funciones y agilizado la producción, es el láser.

Los sistemas de corte, mediante el uso de tecnologías, como el láser gracias al CNC donde es posible programar el equipo para trabajar de manera automática o manual y de esta forma ser adaptado tanto a las necesidades de la empresa como a las del usuario de la máquina.

El equipo industrial es fundamental para la cadena de producción de cualquier empresa, pues las necesidades de la industria actual se basan en la rapidez, la eficiencia y la calidad y para ello se requieren las mejores herramientas, la mejor tecnología y los mejores equipos. Y el mejor equipo para corte y grabado industrial y los mejores servicios de instalación, mantenimiento y capacitación para el uso adecuado de máquinas CNC.

#### 2.6.6 PROGRAMACIÓN CNC

Para realizar un programa en CNC en este caso se realiza de forma automática por el software gráfico InkScape y este puede ser obtenido siguiendo de forma correcta la conversión de una imagen de ser un mapa de bits a una imagen de vectores, la primera la tenemos en formato \*.jpg y la segunda queda en un formato \*.ngc

Cada imagen es un programa, una imagen puede tener más de una pieza igual a la anterior, pero el programa no tendrá las mismas directrices del código CNC dado que en el plano la posición de cada parte es diferente.

El programa de mecanizado comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza.

La información que corresponde a una misma fase del mecanizado se le denomina bloque o secuencia y se numera para facilitar su búsqueda. Esta información es interpretada por el intérprete de órdenes.

Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y funciones tecnológicas del mecanizado, de tal modo que un bloque de programa consta de varias instrucciones.

Los caracteres son regidos por las normas DIN66024 y 66025.

**N:** es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras.

En el caso del formato N03, el número máximo de bloques que puede programarse es 1000, que va desde N000 hasta N999.

**X, Y, Z:** son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina y planos cartesianos.

Dichas cotas se pueden programar en forma absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero pieza o con respecto a la última cota, respectivamente.

**G:** es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utiliza para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, cómo, por ejemplo, forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc.

La función G va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes.

#### *EJEMPLOS:*

**G00:** El trayecto programado se realiza a la máxima velocidad posible, es decir, a la velocidad de desplazamiento en rápido.

**G01:** Los ejes se gobiernan de tal forma que la herramienta se mueve a lo largo de una línea recta.

**G02:** Interpolación circular en sentido horario.

**G03:** Interpolación circular en sentido antihorario.

**G05:** Trabajo en arista matada

**G07:** Trabajo en arista viva

**G09:** Trayectoria circular definida por 3 puntos

**G10:** Anulación de la imagen espejo

**G11:** Imagen espejo en X

**G12:** Imagen espejo en Y

**G17:** Selección del plano XY

**G18:** Selección del plano XZ

**G19:** Selección del plano YZ

**G25:** Salto incondicional

**G33:** Indica ciclo automático de roscado.

**G37:** Entrada tangencial.

**G38:** Salida tangencial.

**G40:** Cancela compensación.

**G41:** Compensación de corte hacia la izquierda.

**G42:** Compensación de corte a la derecha.

**G43:** Compensación del largo de las herramientas.

**G44:** Anulación de la compensación del largo de las herramientas.

**G53/G59:** Traslados de origen.

**G70:** Programación en pulgadas.

**G71:** Programación en milímetros.

**G72:** Factor de escala.

**G73:** Giro del sistema de coordenadas

**G77:** Es un ciclo automático que permite programar con un único bloque el torneado de un cilindro, etc.

**G87:** Cajera rectangular

**G88:** Cajera circular.

**G90:** Programación de cotas absolutas

**G91:** Programación de cotas incrementales

**G94:** Velocidad de avance F en mm/min.

**M:** es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias.

Se usan para indicar a la máquina herramienta que, se deben realizar operaciones tales como, parada programada, rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc.

La dirección **M** va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

*EJEMPLOS:*

**M00:** Provoca una parada incondicional del programa, detiene el husillo y la refrigeración.

**M01:** Alto opcional.

**M02:** Indica el fin del programa. Se debe escribir en el último bloque del programa y posibilita la parada del control una vez ejecutadas el resto de las operaciones contenidas en el mismo bloque.

**M03:** Activa la rotación del husillo en sentido horario.

**M04:** Activa la rotación del husillo en sentido antihorario, etc.

**M08:** Lubricación ON

**M09:** Lubricación OFF

**M10:** Encendido del accesorio de iluminación.

**M30:** Final del programa con vuelta al inicio (El sentido de giro del husillo es visto por detrás de la máquina, no de nuestro punto de vista como en los tornos convencionales)

**M05:** Parada del cabezal

**M06:** cambio de herramienta (con parada del programa o sin) en las máquinas de cambio automático no conlleva la parada del programa.

**F:** es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance en mm/min.

**S:** es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa directamente en revoluciones por minuto, usando cuatro dígitos.

**I, J, K:** son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia. Cuando la interpolación se realiza en el plano X-Y, se utilizan las direcciones I y J. Análogamente, en el plano X-Z, se utilizan las direcciones I y K, y en el plano Y-Z, las direcciones J y K.

**T:** es la dirección correspondiente al número de herramienta. Va seguido de un número de cuatro cifras en el cual los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de estas.

**A:** ángulo

**G:** función preparatoria

**M:** función auxiliar

**N:** numeración del bloque

**P:** programa

**R:** radio

## 2.6.7 ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA CNC

Se muestra un fragmento del inicio de ejecución de un programa en CNC para la obtención de una parte, esta ejecución se realiza y visualiza en la pantalla de la computadora por medio de la pantalla HMI del software G Code Sender

```
>>> $G
```

```
[GC:G0 G54 G17 G21 G90 G94 M5 M9 T0 F0 S0]
```

```
>>> G10 P0 L20 X0 Y0 Z0
```

```
>>> $J=G21G91X1F1
```

```
>>> $J=G21G91X30F101
```

```
>>> G10 P0 L20 X0 Y0 Z0
```

```
Skipping comment-only line: (%)
```

```
Skipping comment-only line: (Header)
```

```
Skipping comment-only line: (Generated by gcodetools from Inkscape.)
```

```
Skipping comment-only line: (Using default header. To add your own header create file "header" in the output dir.)
```

```
>>> M3
```

```
Skipping comment-only line: (Header end.)
```

```
>>> G21
```

```
Skipping blank line #8
```

```
Skipping comment-only line: (Start cutting path id: path9130)
```

```
Skipping comment-only line: (Change tool to Cone cutter)
```

```
Skipping blank line #11
```

```
>>> G00Z5
```

```
>>> G00X80.8886Y25.6181
```

Skipping blank line #14

```
>>> G01Z-1F100.0
>>> G01X80.8886Y30.1528Z-1F400
>>> G01X74.0892Y36.3926Z-1
>>> G01X78.4828Y36.3926Z-1
>>> G01X82.8512Y32.1298Z-1
>>> G01X87.1309Y36.3926Z-1
>>> G01X91.4486Y36.3926Z-1
>>> G01X84.6238Y30.1381Z-1
>>> G01X84.6238Y25.6181Z-1
>>> G01X80.8886Y25.6181Z-1
>>> G00Z5
```

Termino de la ejecución de la parte por el programa G Code Sender.

```
>>> G00Z5
>>> G00X35.6631Y73.7619
Skipping blank line #844
>>> G01Z-1F100.0
>>> G03X29.7769Y75.1534Z-1I-15.7207J-53.3543F400
>>> G03X22.1533Y76.1888Z-1I-15.9124J-88.5797
>>> G02X19.8628Y76.4353Z-1I7.0856J76.6068
>>> G02X19.5857Y76.504Z-1I0.144J1.1728
>>> G02X19.2417Y76.9153Z-1I0.1958J0.5134
>>> G02X19.2892Y78.0728Z-1I2.5193J0.4762
>>> G01X19.4201Y78.5476Z-1
```

>>> G01X20.7228Y78.5462Z-1  
>>> G02X26.25Y78.3111Z-1I-0.063J-66.5685  
>>> G02X32.1736Y77.5812Z-1I-6.507J-77.2122  
>>> G02X38.8482Y76.2458Z-1I-15.0276J-92.4605  
>>> G02X39.6922Y75.7906Z-1I-0.4307J-1.8087  
>>> G01X39.6972Y75.7444Z-1  
>>> G02X39.2641Y75.1671Z-1I-7.0969J4.8729  
>>> G03X38.8397Y74.5576Z-1I3.7259J-3.0473  
>>> G03X38.4913Y73.8514Z-1I4.6643J-2.7396  
>>> G02X38.164Y73.151Z-1I-6.9094J2.8029  
>>> G02X38.0895Y73.0964Z-1I-0.0939J0.05  
>>> G02X37.9874Y73.1007Z-1I-0.0417J0.2247  
>>> G02X35.6631Y73.7617Z-1I33.763J123.1369  
>>> G01X35.6631Y73.7619Z-1  
>>> G00Z5

Skipping blank line #868

Skipping comment-only line: (End cutting path id: path20)

Skipping blank line #870

Skipping blank line #871

Skipping comment-only line: (Footer)

>>> M5

>>> G00X0.0000Y0.0000

>>> M2

Skipping comment-only line: (Using default footer. To add your own footer create file "footer" in the output dir.)

Skipping comment-only line: (end)

Skipping comment-only line: (%)

[MSG:Pgm End]

\*\*\*\* Finished sending file in 00:38:55 \*\*\*\*

### 2.6.8 COMANDOS BÁSICOS DE OPERACIÓN PARA ARDUINO MEDIANTE CNC

Se muestran los comandos básicos de programación que quedan registrados en el microprocesador de Arduino Uno y que permiten la ejecución del programa controlado por la interfaz gráfica de Universal Gcode Sender.

\*\*\*\* Connected to COM6 @ 115200 baud \*\*\*\*

Grbl 1.1g ['\$' for help]

>>> \$\$

\$0 = 10 (Step pulse time, microseconds)

\$1 = 25 (Step idle delay, milliseconds)

\$2 = 0 (Step pulse invert, mask)

\$3 = 0 (Step direction invert, mask)

\$4 = 0 (Invert step enable pin, boolean)

\$5 = 0 (Invert limit pins, boolean)

\$6 = 0 (Invert probe pin, boolean)

\$10 = 1 (Status report options, mask)

\$11 = 0.010 (Junction deviation, millimeters)

\$12 = 0.002 (Arc tolerance, millimeters)

\$13 = 0 (Report in inches, boolean)

\$20 = 0 (Soft limits enable, boolean)  
\$21 = 0 (Hard limits enable, boolean)  
\$22 = 0 (Homing cycle enable, boolean)  
\$23 = 0 (Homing direction invert, mask)  
\$24 = 25.000 (Homing locate feed rate, mm/min)  
\$25 = 500.000 (Homing search seek rate, mm/min)  
\$26 = 250 (Homing switch debounce delay, milliseconds)  
\$27 = 1.000 (Homing switch pull-off distance, millimeters)  
\$30 = 1000 (Maximum spindle speed, RPM)  
\$31 = 0 (Minimum spindle speed, RPM)  
\$32 = 0 (Laser-mode enable, boolean)  
\$100 = 800.000 (X-axis travel resolution, step/mm)  
\$101 = 800.000 (Y-axis travel resolution, step/mm)  
\$102 = 400.000 (Z-axis travel resolution, step/mm)  
\$110 = 50.000 (X-axis maximum rate, mm/min)  
\$111 = 50.000 (Y-axis maximum rate, mm/min)  
\$112 = 50.000 (Z-axis maximum rate, mm/min)  
\$120 = 45.000 (X-axis acceleration, mm/sec<sup>2</sup>)  
\$121 = 45.000 (Y-axis acceleration, mm/sec<sup>2</sup>)  
\$122 = 45.000 (Z-axis acceleration, mm/sec<sup>2</sup>)  
\$130 = 300.000 (X-axis maximum travel, millimeters)  
\$131 = 180.000 (Y-axis maximum travel, millimeters)  
\$132 = 44.000 (Z-axis maximum travel, millimeters)

### 2.6.9 PREPARACIÓN DE IMAGEN PARA PROCESAMIENTO

Los pasos para seguir en el software **Inkscape** y poder obtener el código G requerido para el control de la máquina CPLaser son los siguientes:

Una vez abierto el software **Inkscape**, se importa la imagen deseada. Para esto selecciona la pestaña de “**archivo**” con clic izquierdo y se selecciona la opción llamada “**importar**” como se muestra en la figura 23.

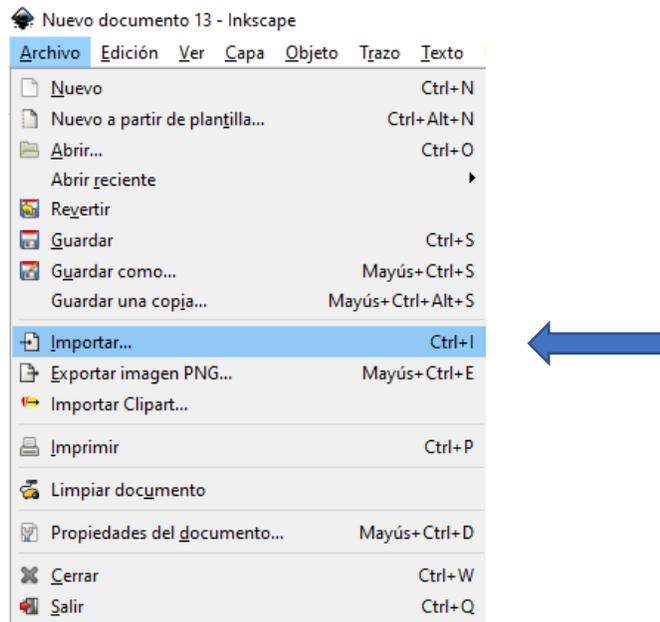


FIGURA 23. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN IMPORTAR.

Se selecciona la imagen deseada y se oprime en la opción “**abrir**”.

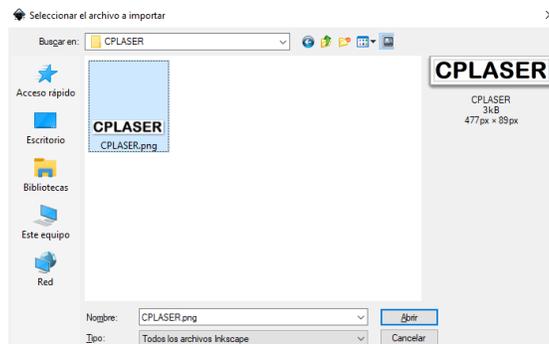


FIGURA 24. EXPLORADOR DE ARCHIVOS

Al abrir la imagen se abrirá una ventana donde se muestran diferentes opciones para modificar el tipo de imagen, “**PPP**” (Píxeles Por Pulgada) de la imagen y el **Modo de renderizado de imagen**. Para una mejor fluidez al momento de modificar la imagen, se recomienda dejar seleccionadas las opciones en automático ya que el software detecta el Hardware de la máquina en la que estás trabajando y en automático selecciona las opciones con las que mejor puede trabajar.

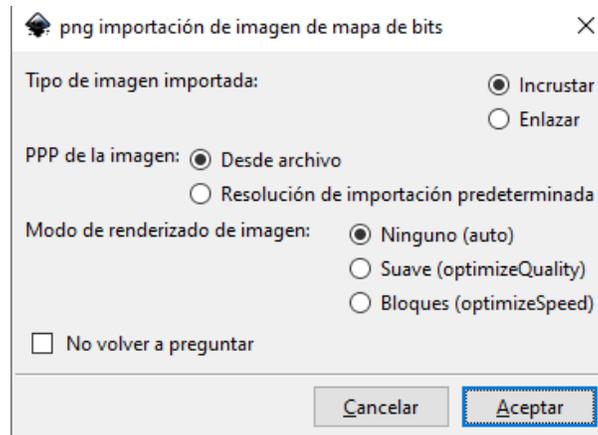


FIGURA 25. IMPORTACIÓN DE IMAGEN

En seguida se procede a ubicar la imagen en las coordenadas 0 ya que es el punto inicial de trabajo de la máquina.

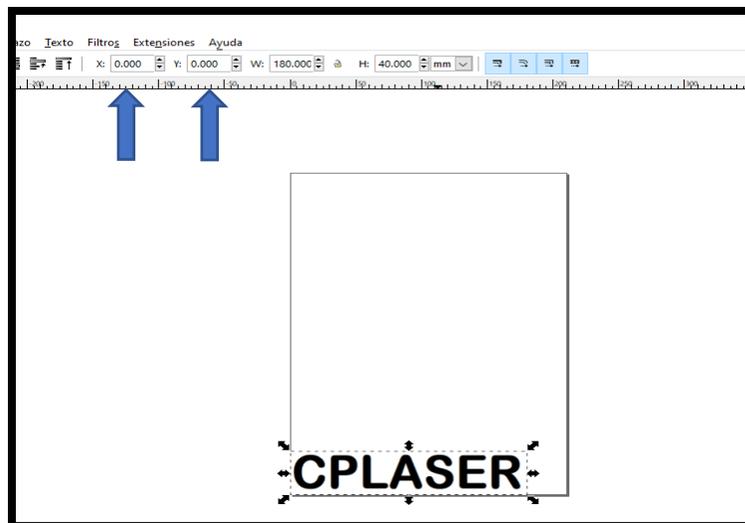


FIGURA 26. POSICIÓN DE LA IMAGEN

Se modifica el tamaño de la hoja, para esto selecciona la pestaña “**Archivo**” y selecciona la opción “**Propiedades del documento**”.

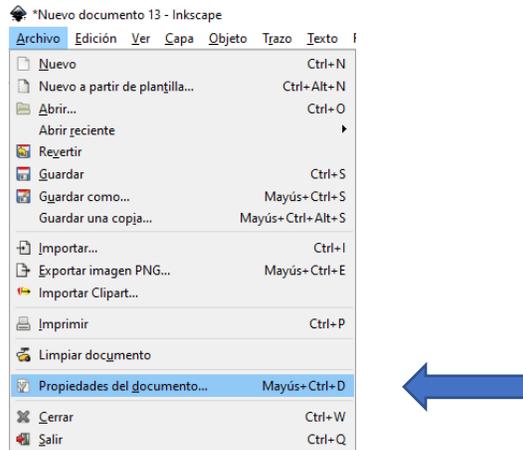


FIGURA 27. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN PROPIEDADES DEL DOCUMENTO

Se abrirá una ventana con diferentes opciones y pestañas. Predeterminadamente abre la pestaña de “**página**” donde se ubica la opción para cambiar el tamaño. Es importante tener en cuenta que las unidades deben estar seleccionadas en milímetros.

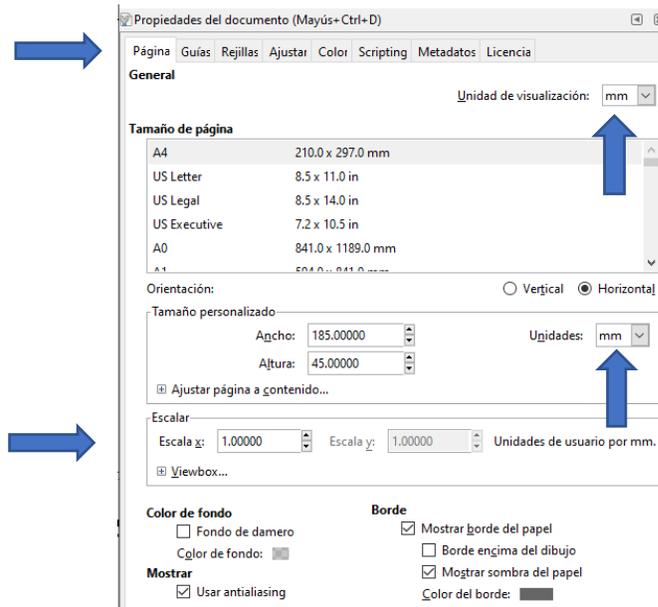


FIGURA 28. PROPIEDADES DEL DOCUMENTO

Se procede con el proceso de conversión de píxeles a bits. Seleccionando la pestaña de **“trazo”** nos mostrará diferentes opciones, oprimos en la opción que indica **“vectorizar mapa de bits”**.

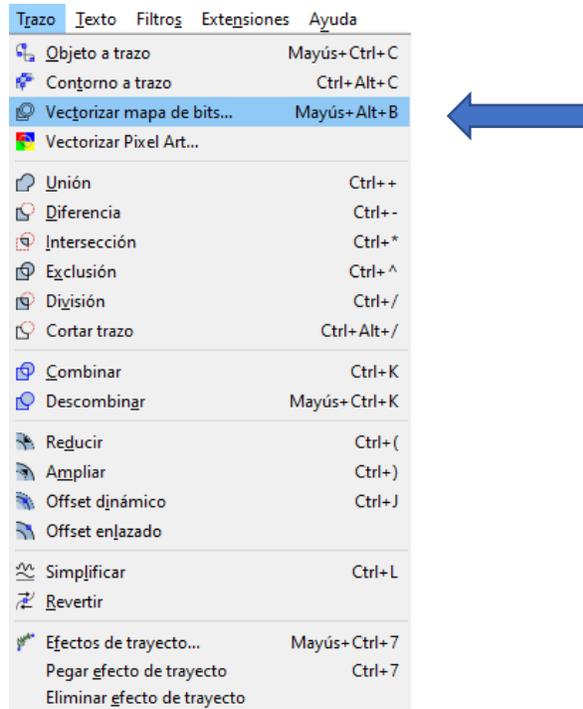


FIGURA 29. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN VECTORIZAR MAPA DE BITS

Se abrirá una ventana donde se puede modificar ciertos parámetros. Es importante seleccionar la casilla de **“vista en directo”** ya que permite visualizar los cambios realizados en tiempo real.

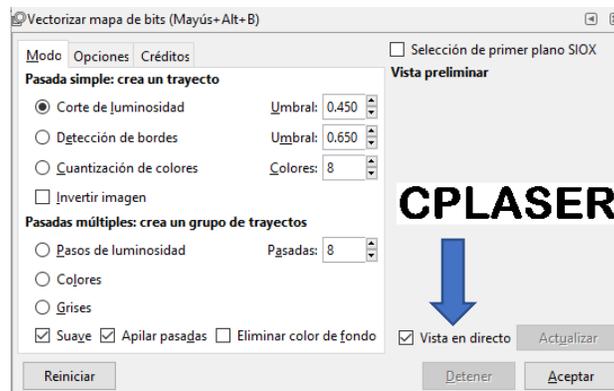


FIGURA 30. VECTORIZAR MAPA DE BITS

En la opción de **“Corte de luminosidad”** existe la posibilidad de cambiar el umbral y sirve para disminuir o aumentar el contraste en blanco y negro de la imagen.

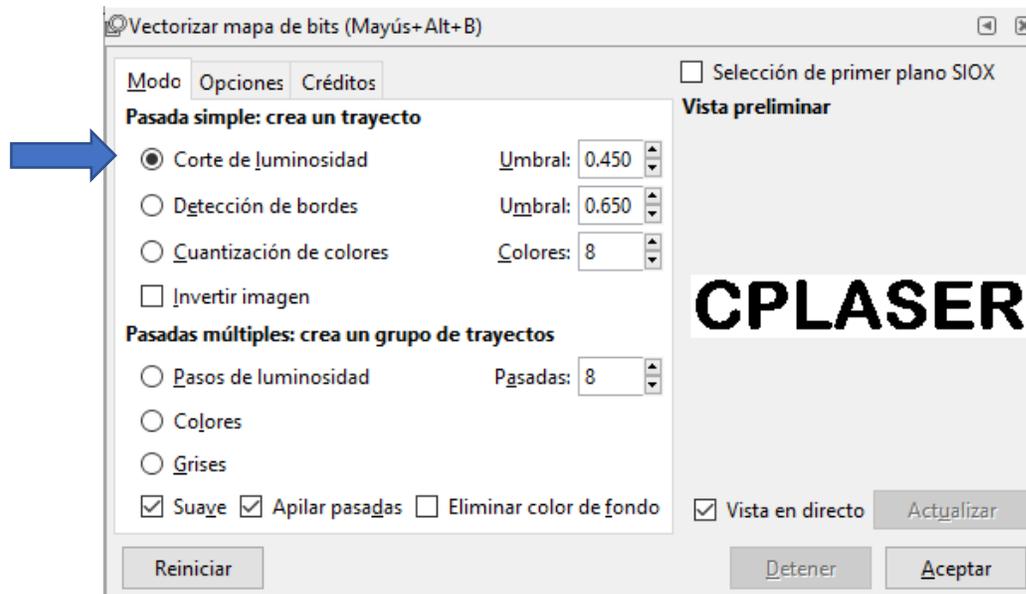


FIGURA 31. VISTA DE LA OPCIÓN CORTE DE LUMINOSIDAD

En la opción de **“Detección de bordes”** muestra literalmente los bordes de la imagen con la posibilidad de cambiar el umbral o la definición de bordes.

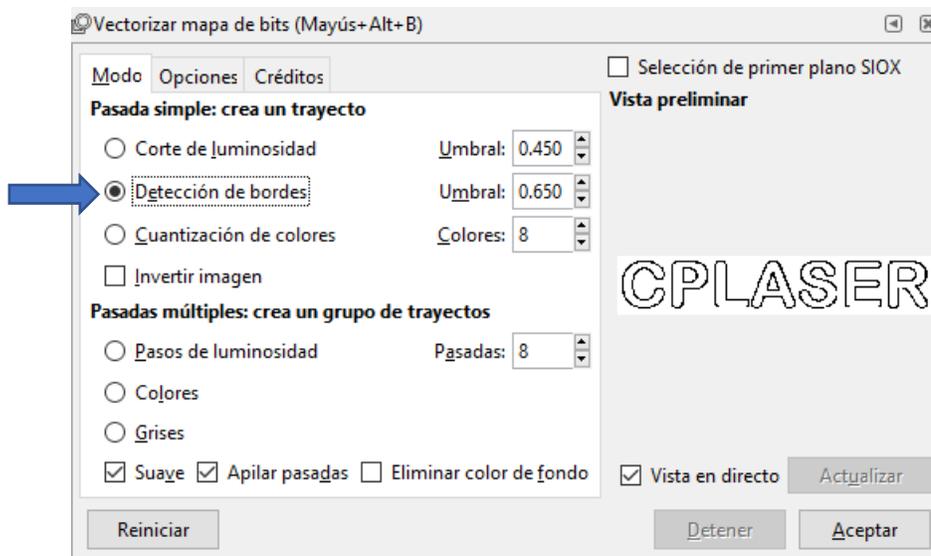


FIGURA 32. VISTA DE LA OPCIÓN DETECCIÓN DE BORDES

En la opción “**cuantificación de colores**” se puede eliminar ciertos colores detectados de nuestra imagen para que de esa forma quede más detallada al momento de modificarla.

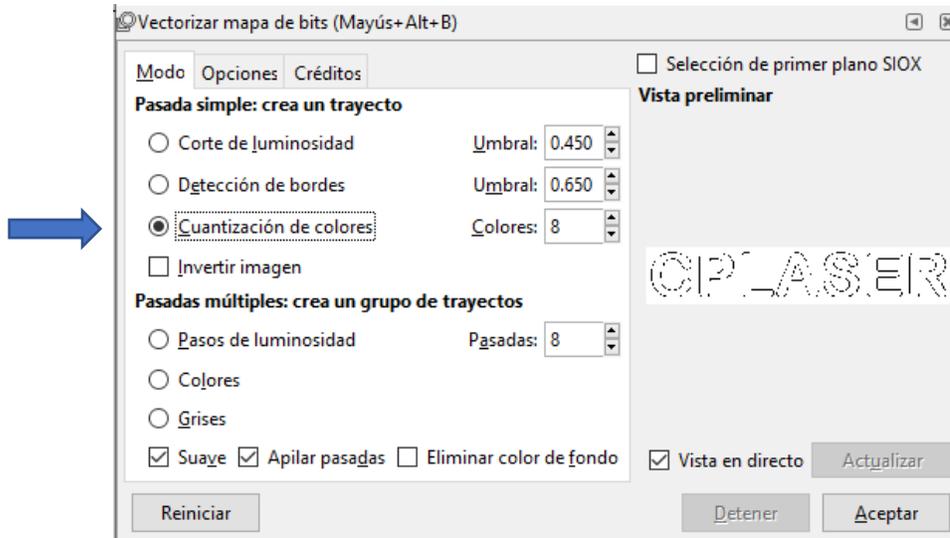


FIGURA 33. VISTA DE LA OPCIÓN CUANTIFICACIÓN DE COLORES

En este ejemplo se utilizó la opción “**detección de bordes**” ya que el objetivo es obtener el borde de las letras CPLaser. Una vez obtenido la configuración deseada en aceptar y el resultado quedará sobre la imagen original, por lo tanto, se tienen que separar tan solo seleccionando la imagen y moviéndola.

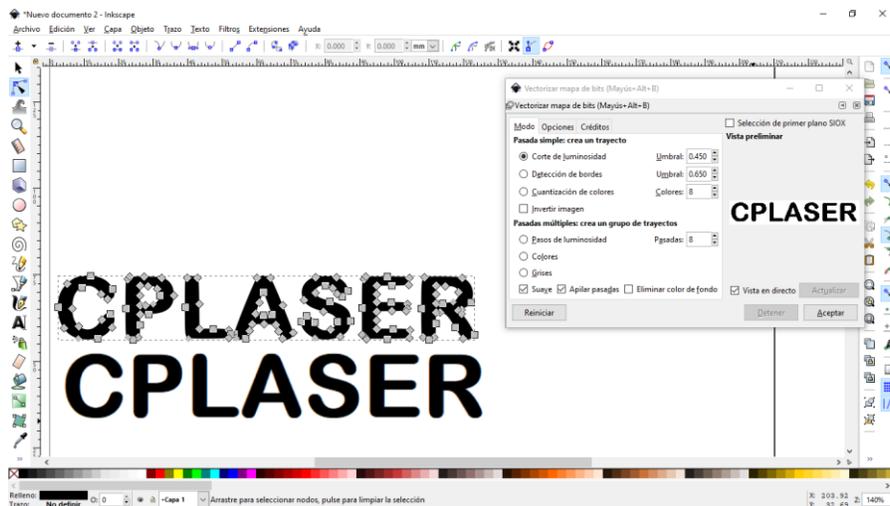


FIGURA 34. SEPARACIÓN DE IMAGEN EN PÍXELES Y BITS

Una vez identificando la imagen original, la eliminamos. Para eso, seleccionamos la imagen y oprimimos la tecla “supr”. La eliminamos ya que no la usaremos más y solo estará obstruyendo en nuestra área de trabajo.

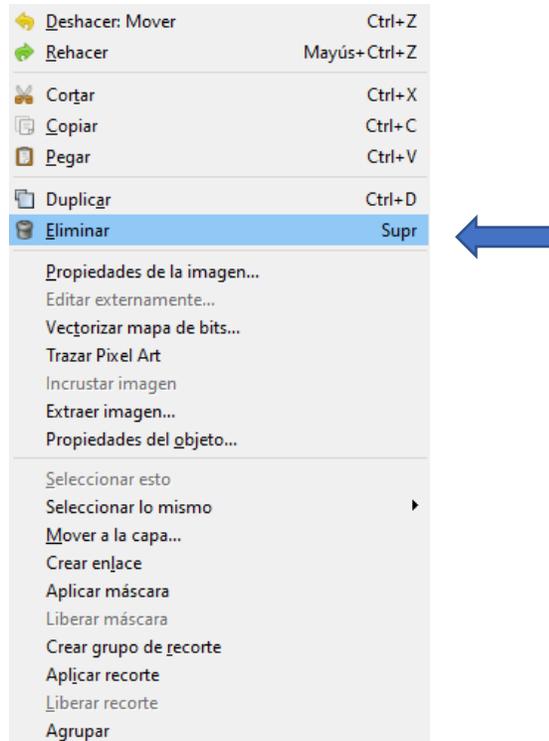


FIGURA 35. ELIMINACIÓN DE LA IMAGEN EN PÍXELES

Volvemos a posicionar la imagen en bits al punto inicia o coordenadas (0,0).

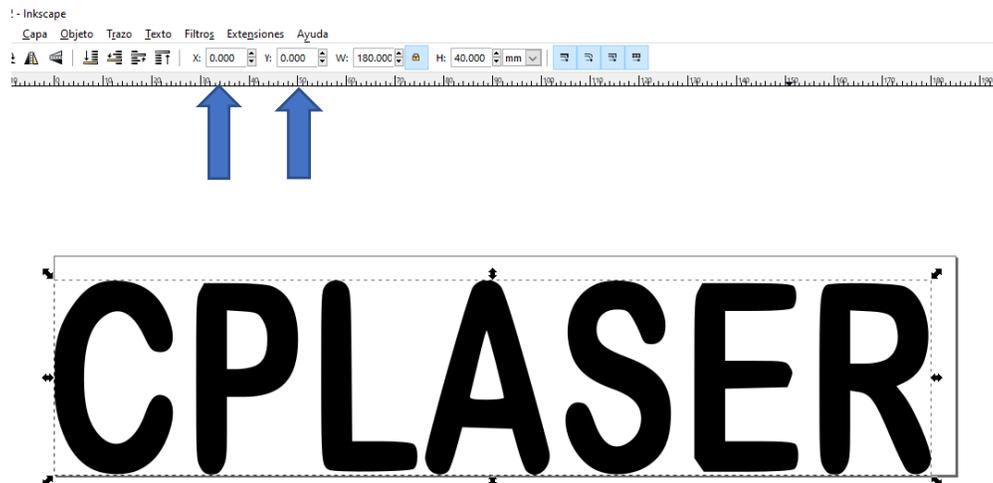


FIGURA 36. POSICIONAMIENTO EN EL ORIGEN DE LA IMAGEN EN BITS

Hasta este punto ya se logró convertir la imagen original de píxeles a una imagen en bits. Seleccionamos la imagen con la opción **“Editar nodos de trayectoria”** y la imagen nos mostrará las posibles trayectorias en la imagen.

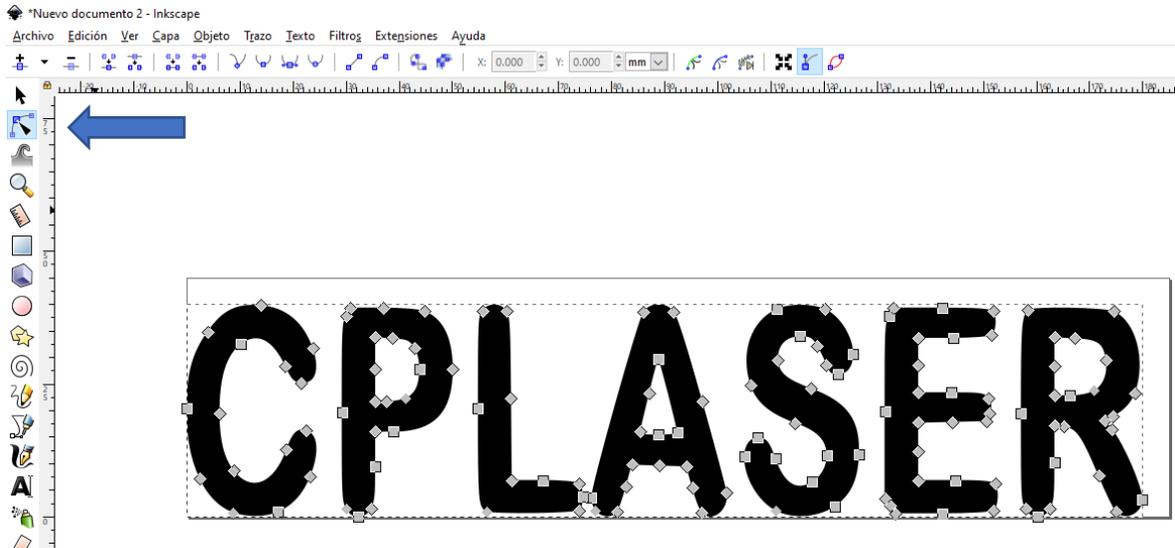


FIGURA 37. IMAGEN EN BITS CON TRAYECTOS

El siguiente paso es marcar los trazos de los bordes de la imagen. Para eso selecciona la pestaña **“Trazo”** y selecciona la opción que indique **“objeto trazo”**.

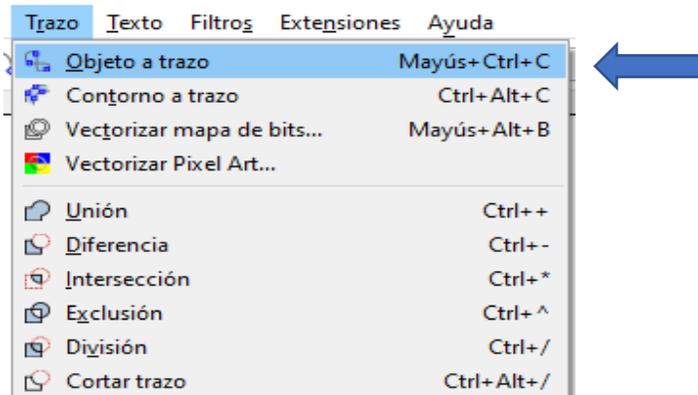


FIGURA 38. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN OBJETO A TRAZO

Una vez seleccionado el objeto trazo, se vuelve a seleccionar la pestaña **“trazo”** y selecciona la opción **“Offset Dinámico”**. Es importante tener en cuenta que

debemos tener seleccionada la imagen con la opción “**editar nodos de trayectoria**” que se encuentra en la fila de la izquierda como se muestra en la figura 38.

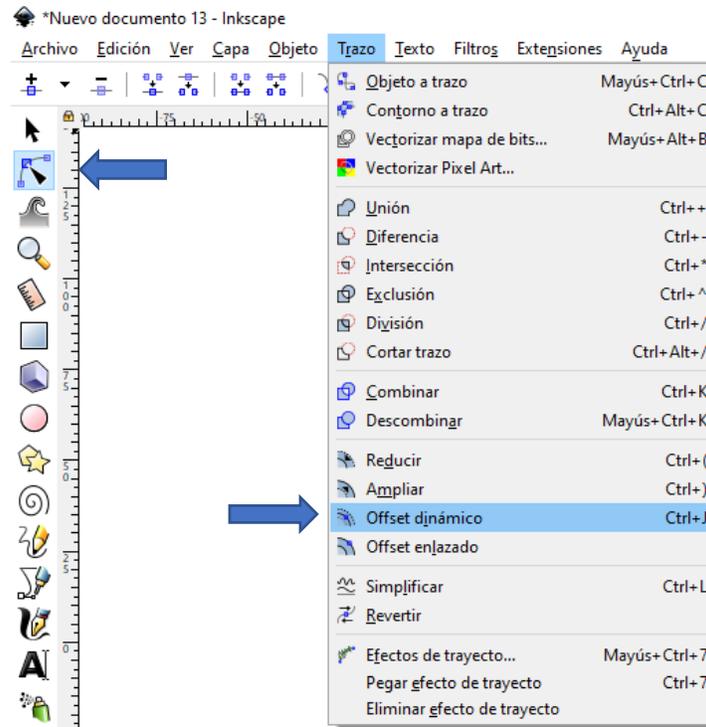


FIGURA 39. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN OFFSET DINÁMICO

Y se eliminará la visualización de los objetos trazos.



FIGURA 40. ELIMINACIÓN DE LOS TRAZOS CON LA OPCIÓN OFFSET DINÁMICO

En seguida se agregan los puntos de orientación para la imagen que se logran al abrir la pestaña de “**extensiones**” y seleccionando el apartado de “**Gcodetools**”, se abrirán varias opciones en las cuales se encuentra “**puntos de orientación**” y la seleccionaremos. Es importante tener en cuenta que debemos tener seleccionada la imagen con la opción “**editar nodos de trayectoria**” que se encuentra en la fila de la izquierda.

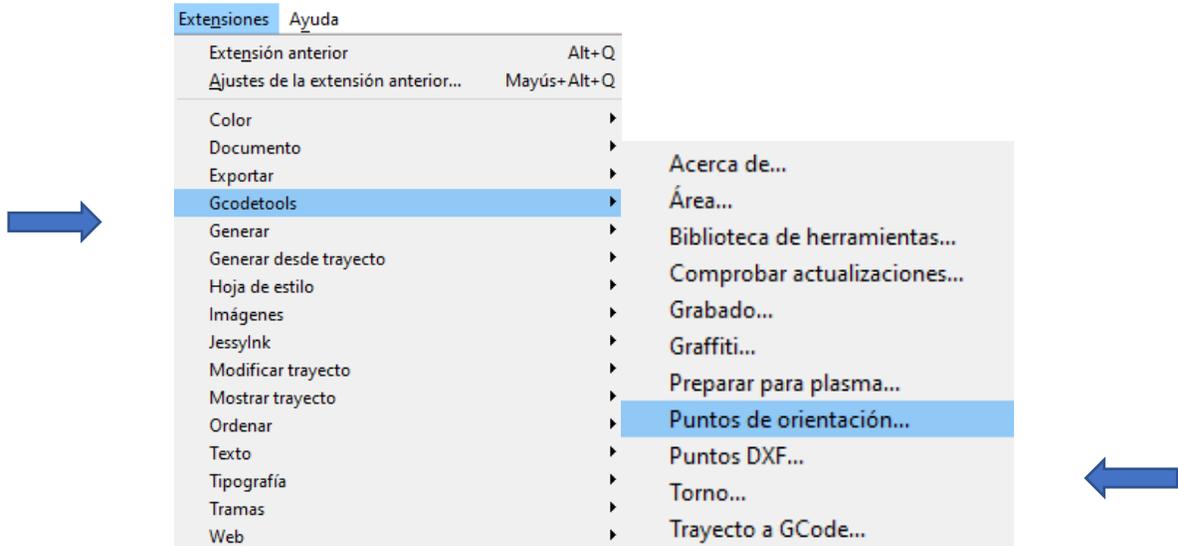


FIGURA 41. UBICACI3N DE LA OPCI3N PUNTOS DE ORIENTACI3N

Al seleccionar la opci3n de puntos de orientaci3n, se abrir3 una ventana en la cual se debe seleccionar la opci3n “**2 points mode**” ya que es una imagen en 2D por lo tanto se utilizar3n los ejes X, Y.

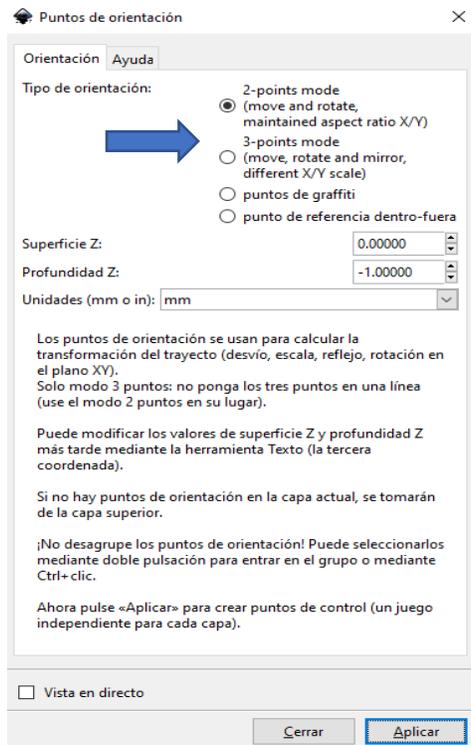


FIGURA 42. PUNTOS DE ORIENTACI3N

Oprimiendo la opción de “**aplicar**”, los puntos de orientación aparecerán en la parte inferior de la imagen.

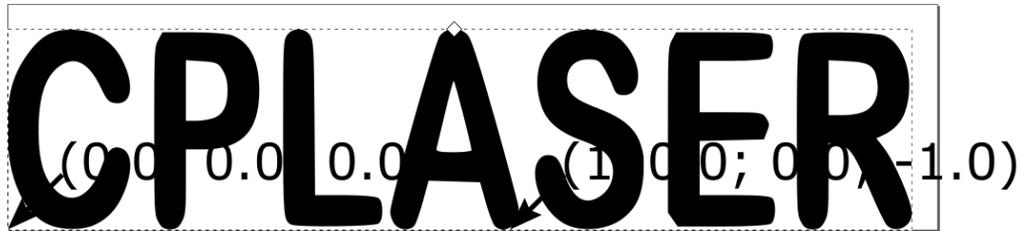


FIGURA 43. RESULTADO AL PONER LOS PUNTOS DE ORIENTACIÓN

Una vez obtenido los puntos de orientación, se procede a seleccionar la herramienta con la cual se trabajará para realizar los cortes. Para esto oprimimos la pestaña de “**extensiones**”, seleccionar la opción “**Gcodetools**” y se abrirán varias opciones en la cual está “**biblioteca de herramientas**” que es la que interesa.

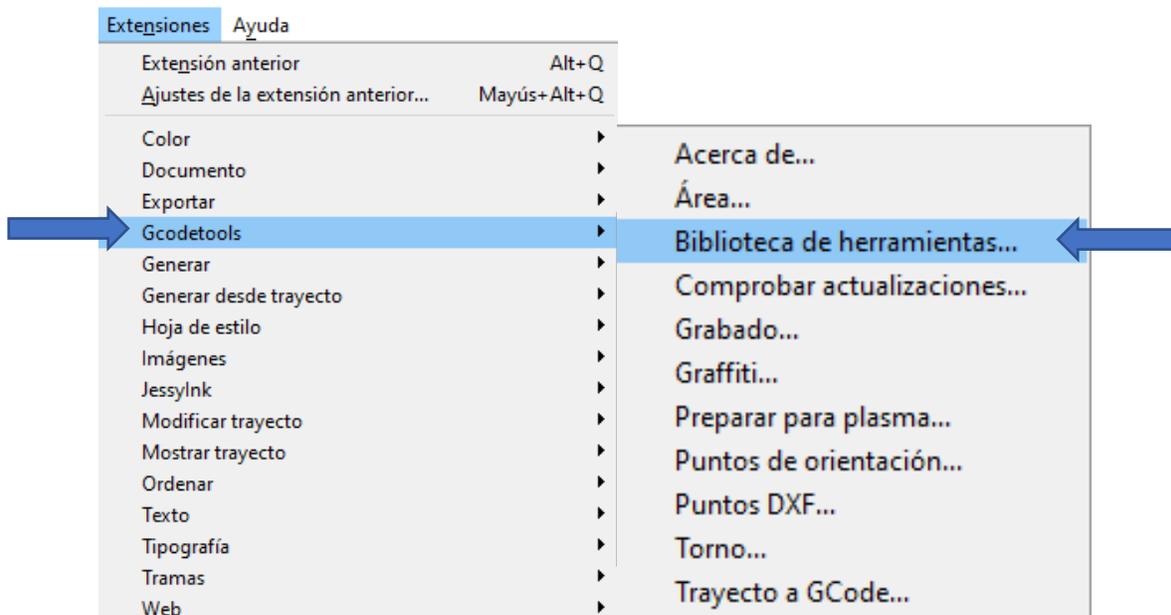


FIGURA 44. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN BIBLIOTECA DE HERRAMIENTAS

Una vez seleccionada la opción se abrirá una ventana en la cual muestra las diferentes herramientas con las que puede trabajar el software. Utilizaremos la

opción “cono” de la figura 34 ya que lo utilizaremos solo para simular en el software de **Universal Gcode Platform**.

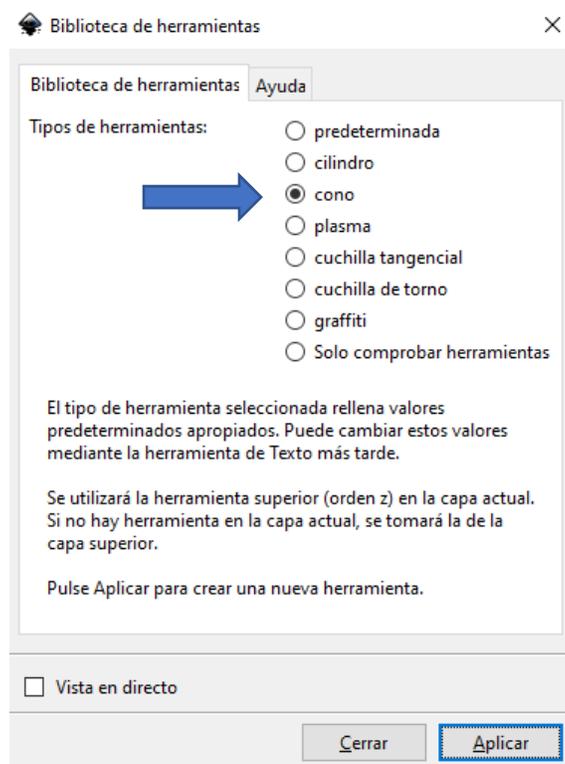


FIGURA 45. VENTANA DE BIBLIOTECA DE HERRAMIENTAS

Una vez seleccionada la herramienta deseada, oprimimos en aplicar. Nos resultará un rectángulo verde en el cual se visualiza información de nuestra imagen.

name	Cone cutter
id	Cone cutter 0001
diameter	10
feed	400
shape	w
penetration feed	100
depth step	1
tool change gcode	(None)

FIGURA 46. INFORMACIÓN BÁSICA DE CORTE

Se modifica el apartado de “**diameter** (diámetro)”, cambiando el número 10 por el 1, para esto se debe seleccionar la opción “**Crear y editar objetos de texto**” que se encuentra en la columna izquierda como se muestra en la figura 36.

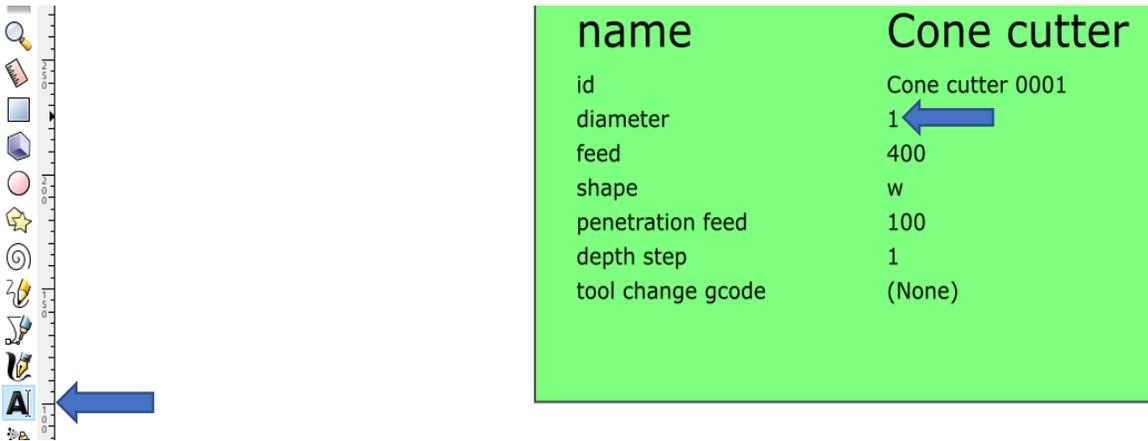


FIGURA 47. EDITAR DIÁMETRO

Hasta este punto, la imagen se encuentra en condiciones para convertirla a código G, para esto se debe ir a las herramientas de Gcode. Seleccionando la pestaña de “Extensiones” selecciona el apartado de “Gcodetools” y después “Trayecto a Gcode”.

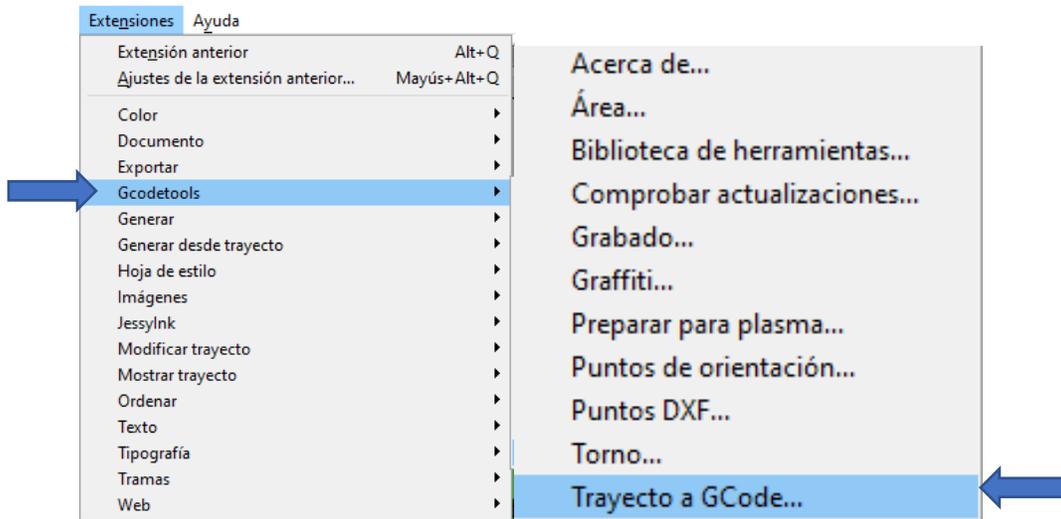


FIGURA 48. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN TRAYECTORIA A GCODE

Al seleccionar la opción “**Trayecto a Gcode**” abrirá una ventana donde se muestran diferentes pestañas. En la pestaña de “**preferencias**” se encuentran diferentes opciones en las cuales se determina el nombre del archivo y su ubicación.

La altura segura en el eje Z se refiere a cuanto distancia se elevará el mismo cuando esté se posicione en otra coordenada y baje para seguir trabajando. La altura se puede definir como en la figura 38 en milímetros o pulgadas.

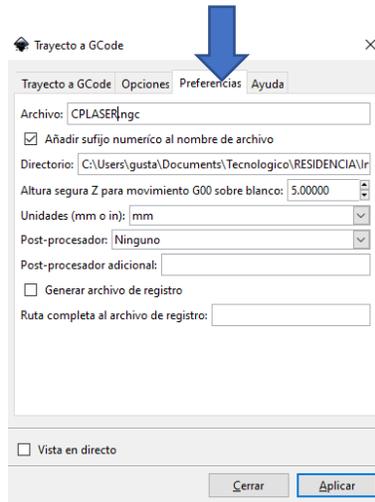


FIGURA 49. TRAYECTO A GCODE PESTAÑA PREFERENCIAS

En la pestaña de “**Opciones**” se encuentra la posibilidad de modificar la escala a lo largo del eje Z o desviar a lo largo del eje Z.

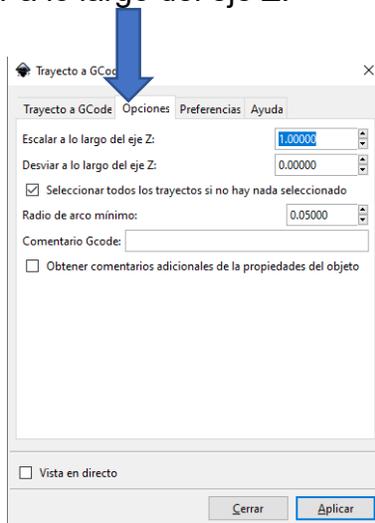


FIGURA 50. TRAYECTORIA A GCODE PESTAÑA OPCIONES

Una vez determinado el nombre del archivo y su ubicación, así como la escala y desviación a lo largo del eje Z. Selecciona la pestaña “**trayecto a Gcode**” y selecciona la opción “**Aplicar**”.

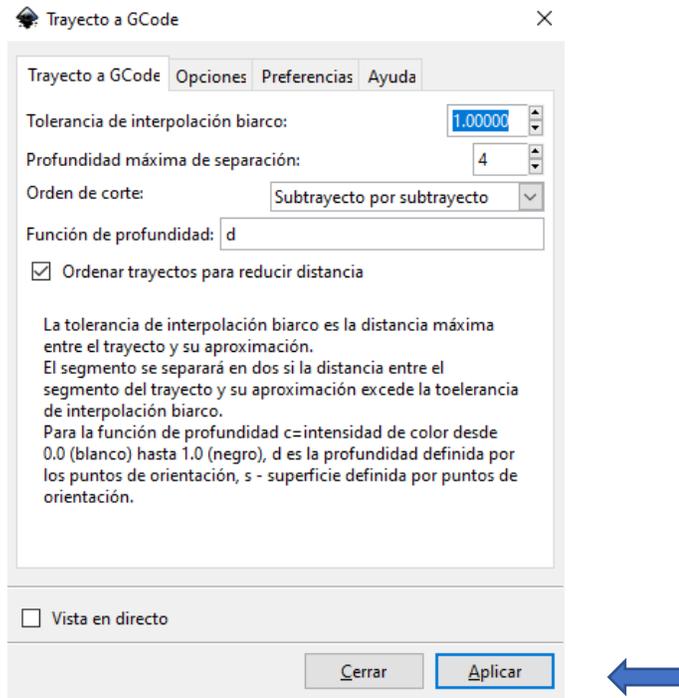


FIGURA 51. TRAYECTO FINAL A GCODE

Resultará una imagen con **“Flechas”** que son vectores de referencia que ayudaran a la maquina a seguir un corte definido. Obteniendo así un archivo en **.ngc** que estará guardado en el destino que se determinó en la pestaña de **“preferencias”**.



FIGURA 52. RESULTADO FINAL CON VECTORES

#### 2.6.10 PREPARACIÓN DE IMAGEN PARA GRABADO O CORTE

Universal Gcode es una plataforma con todas las funciones que se utilizan para interactuar con controladores CNC avanzados como GRBL y TinyG . Universal

Gcode Sender es una aplicación Java autónoma que incluye todas las dependencias externas, lo que significa que, si tiene la configuración de Java RuntimeEnvironment, UGS proporciona el resto.

El G-Code nos define los movimientos línea a línea. Avanza tantos centímetros a la derecha, ahora avanza en otra dirección, y así hasta terminar de cortar nuestra pieza. Una vez obtenido el código G mediante el software Inkscape, es el momento de utilizar el software Universal Gcode Platform para poder llevar acabo el corte o marcado deseado.

Los pasos por seguir son los siguientes:

Una vez abierto el software debemos seleccionar nuestro archivo con formato “.ngc” desde la opción “**Open Gcode file**” que se muestra representado por el icono de una carpeta mostrado en la figura 42.

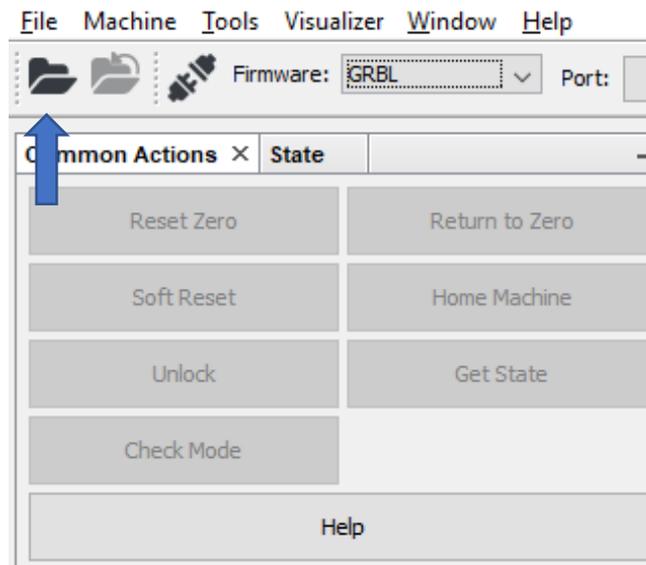


FIGURA 53. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN OPEN GCODE FILE

Al hacer clic izquierdo sobre el icono de la carpeta, se abrirá un explorador de archivos en el cual selecciona el archivo guardado desde Inkscape.

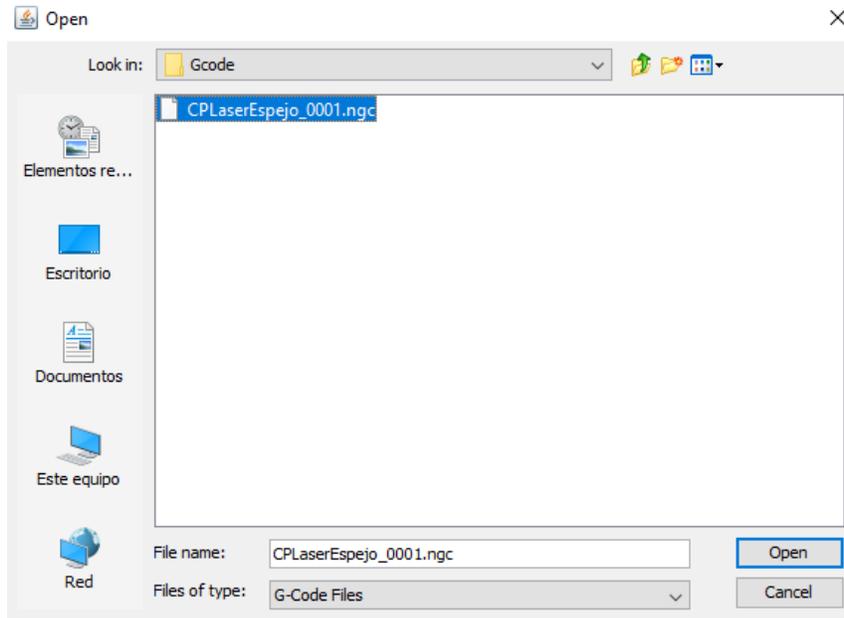


FIGURA 54. EXPLORADOR DE ARCHIVOS

Una vez seleccionado el archivo lo abrimos y en la pantalla principal mostrara el diseño a marcar o cortar.

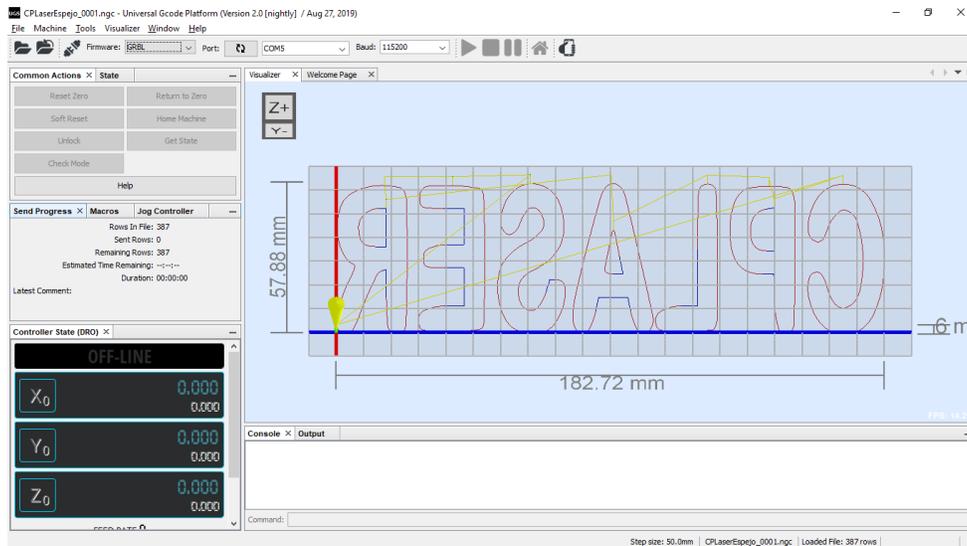


FIGURA 55. VISUALIZACIÓN DEL DISEÑO A MARCAR O CORTAR

Se debe conectar la placa Arduino con la shield CNC montada con sus respectivos drivers a un puerto USB de la computadora para poder tener conexión entre el programa Universal Gcode Platform y el hardware.

Una vez conectada la placa Arduino a un puerto USB de la computadora, selecciona la opción “**connect**” con clic izquierdo.

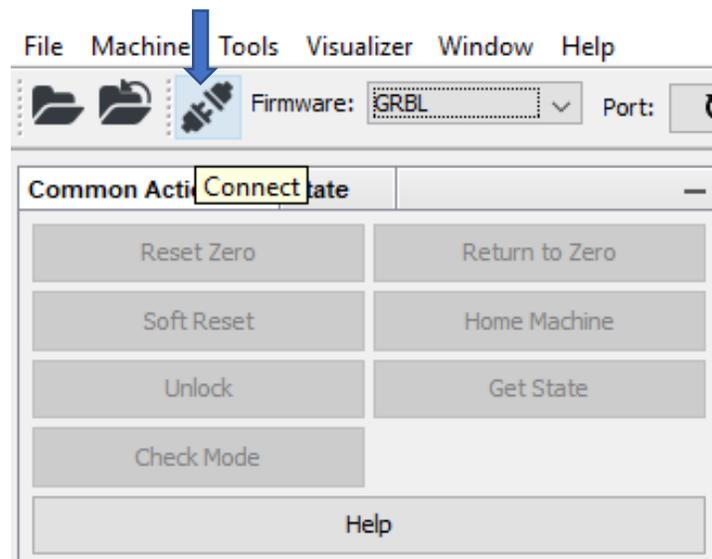


FIGURA 56. UBICACIÓN DE LA OPCIÓN CONNECT

Para saber que la conexión fue exitosa, el icono de “**connect**” se mostrara de color anaranjado como se muestra en la figura 46 y se nos habilitaran las diferentes opciones con las cuales podemos trabajar.

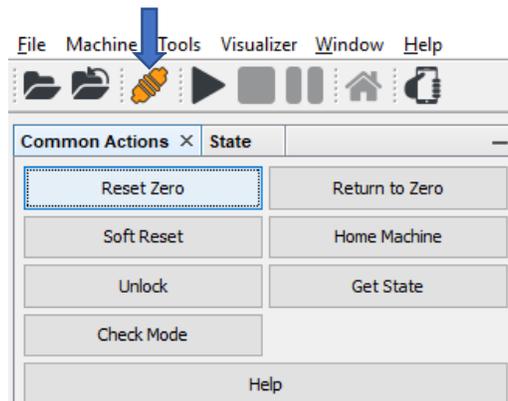


FIGURA 57. CONEXIÓN EXITOSA

## 2.7. PLATAFORMA DE USO LIBRE

### 2.7.1 ARDUINO

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla

Arduino simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores ofreciendo ventajas sobre otros sistemas embebidos tales como:

- **Barato:** las placas Arduino son relativamente baratas en comparación con otras plataformas de microcontroladores.
- **Multiplataforma:** el software Arduino (IDE) se ejecuta en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux.
- **Entorno de programación simple y claro:** el software Arduino (IDE) es fácil de usar para principiantes, pero lo suficientemente flexible como para que los usuarios avanzados también lo aprovechen.
- **Software de código abierto y extensible:** el software Arduino se publica como herramientas de código abierto, disponibles para su extensión por programadores experimentados. El lenguaje se puede ampliar a través de las bibliotecas de C ++, y las personas que deseen comprender los detalles técnicos pueden dar el salto de Arduino al lenguaje de programación AVR C en el que se basa.

### 2.7.2 HARDWARE DE CÓDIGO ABIERTO Y EXTENSIBLE

Los planes de las placas Arduino se publican bajo una licencia Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer



su propia versión del módulo, extenderlo y mejorarlo. Incluso los usuarios relativamente inexpertos pueden crear la versión del módulo de prueba para comprender cómo funciona y ahorrar dinero.

FIGURA 58. PLACA ARDUINO UNO

Un shield para Arduino es una tarjeta de expansión que provee funcionalidades adicionales a la tarjeta Arduino y que habitualmente se monta en la parte superior de esta. En este caso se utilizará para el control de maquinaria CNC.

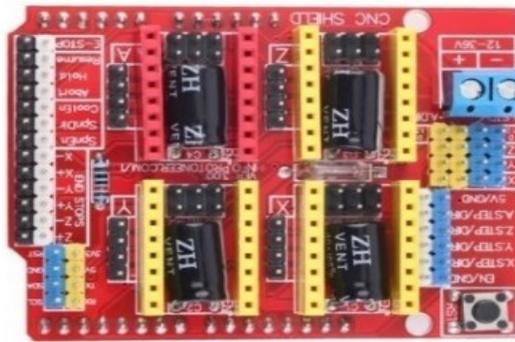


FIGURA 59. CNC SHIELD PLACA PARA ARDUINO UNO

- Voltaje de Potencia: 12- 36V DC.
- Compatible con GRBL 0.9j (Firmware Open Source para Arduino UNO que convierte código-G en comandos para motores Paso a Paso).
- Soporta 4 Ejes (X, Y, Z y duplicar uno de los anteriores o crear un eje a medida con los pines D12 y D13).
- 2 fin de carrera por cada eje (6 en Total).
- Habilitador y dirección de Spindle.
- Habilitador de refrigerante (coolant).
- Diseñador para drivers Pololu A4988 o DRV8825.
- Jumpers para elegir el micro-stepping de los drivers.
- Diseño Compacto.
- Los motores se pueden conectar usando header o Molex hembra de 4 pines.

### 2.7.3 CONTROLADOR DEL MOTOR A PASOS

El A4988 y el DRV8825 (figura) son controladores (drivers) que simplifican el manejo de motores paso a paso desde un autómata o procesador como Arduino.

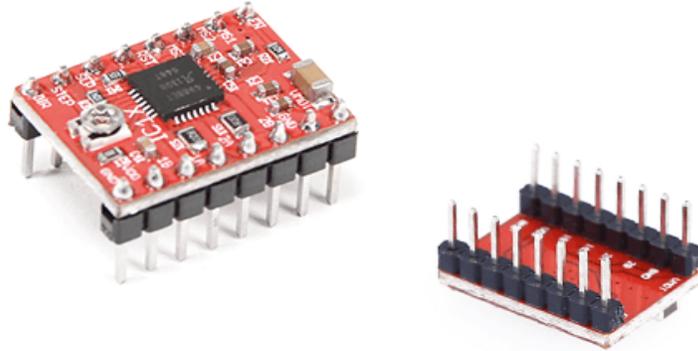


FIGURA 60. CONTROLADOR A4988

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

Para su control **únicamente requieren dos salidas digitales**, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que queremos que el motor avance un paso. Además, permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor.

El A4988 ha alcanzado una gran popularidad en sus últimos tiempos debido a su uso en proyectos como, por ejemplo, en impresoras 3D caseras. Por su parte **el DRV8825 es una versión mejorada del A4988** y, por tanto, tiene unas características ligeramente superiores.

En particular, el DRV8825 permite trabajar con tensiones superiores al A4988 (45V frente a 35V), e intensidades superiores (2.5A frente a 2A). Además, añade un nuevo modo de microstepping (1/32) que no está presente en el A4988.

Por lo demás, aparte de unas pequeñas diferencias, **ambos dispositivos son similares** en su montaje y uso. Incluso pueden ser compatibles entre sí, es decir,

bajo ciertas condiciones podemos usar indistintamente uno u otro, e incluso una combinación de ambos de forma simultánea.

Tabla 1. Características driver A4988

<b>Modelo</b>	A4988
<b>Color</b>	Verde o Rojo
<b>Intensidad máxima</b>	2A
<b>Tensión máxima</b>	35V
<b>Microsteps</b>	16
<b>Rs típico</b>	0.05, 0.1 o 0.2
<b>Fórmulas</b>	$I_{max} = V_{ref} / ( 8 * R_s)$ $V_{ref} = I_{max} * 8 * R_s$

Ambos controladores pueden alcanzar altas temperaturas durante su funcionamiento y es necesario disipar el calor para que el dispositivo no se dañe. Para intensidades superiores 1A en el A4988 y a 1.5A en el DRV8825 es necesario añadir un sistema de disipación de calor, e incluso ventilación forzada.

Disponen de protecciones contra sobreintensidad, cortocircuito, sobretensión y sobre temperatura. En general, son dispositivos robustos y fiables siempre que realicemos la conexión correctamente, e incorporemos disipación de calor si es necesario.

El A4988 y el DRV8825 son muy empleados en una gran variedad de proyectos que requieren el uso de motores paso a paso, como máquinas de CNC, plotters, robots que dibujan, impresoras 3D, y escáneres 3D. También son un componente frecuente en proyectos para controlar robots y vehículos, especialmente en aquellos que requieren variar de forma individual la velocidad de cada rueda, como en vehículos con Omniwheel o Mecanum Wheels.

#### 2.7.4 ACOPLAMIENTO DEL HARDWARE

Los drivers (Figura 60) se montan sobre la tarjeta shield CNC (Figura 59) y la misma se monta sobre la placa de Arduino Uno (Figura 63). Un acoplamiento que nos ayudará a mover los motores de nuestra máquina, la tarjeta CNC se alimenta con 12v de corriente continua independiente de la tarjeta Arduino ya que está se alimenta con 5v a través del puerto USB que conectaremos a la computadora para hacer la comunicación hombre – maquina.

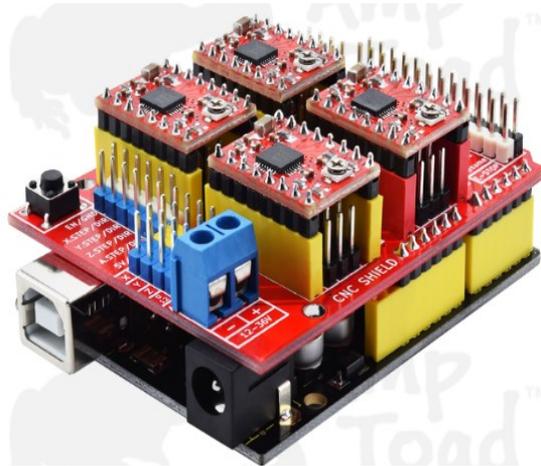


FIGURA 62. ACOPLAMIENTO DEL HARDWARE

#### 2.7.5 VENTAJAS DEL USO DE SOFTWARE LIBRE

- **Independencia tecnológica.** Si los desarrolladores de un programa deciden discontinuar el software, al tener acceso al código fuente otros programadores pueden continuar el proyecto.
- **Económico.** La mayoría de las herramientas de Software Libre está disponible sin costo alguno, y aunque hay herramientas comerciales, no se paga por una licencia sino por el servicio prestado.

- **Libertad de uso y redistribución.** Si usas una herramienta de Software Libre, puedes hacer copias y compartirlo con tus amigos, familia o colegas del trabajo sin ninguna restricción de uso.
- **Corrección de errores.** El desarrollo de Software Libre no depende únicamente de las empresas o programadores responsables, sino de voluntarios que dedican parte de su tiempo a contribuir a esos proyectos, por lo que la corrección de errores e implementación de funcionalidades se realiza en menor tiempo.
- **Seguridad.** Sabemos que un sistema no puede ser totalmente seguro y muchos de los errores de seguridad dependen de las acciones que realizamos como usuarios. Sin embargo, con el Software Libre podemos saber si se ha introducido código malicioso o puertas traseras a un programa, ya que se tiene acceso al código fuente.
- **Soporte y compatibilidad.** A diferencia de lo que pasa con el software privativo, no se necesita adquirir hardware nuevo con cada versión que se publica de un programa, por lo que podemos seguir usando los equipos por mucho más tiempo. Lo que hace que, aunque el equipo que estamos usando no sea el último en el mercado, aun así, podamos usar las últimas versiones de una herramienta.

#### 2.7.6 MOTORES A PASOS

El motor paso a paso es el convertidor electromecánico que permite la conversión de una información en forma de energía eléctrica, en una energía mecánica y una información de posición. Está constituido por un estator cuyos devanados se llaman fases y un rotor de un elevado número de polos. Su funcionamiento es síncrono y la alimentación cíclica de sus fases debe originar en cambio de configuración un giro elemental del rotor, constante, llamado paso.

Existe una gran diversidad de modelos de estos motores dependiendo del número de fases de su estator, de si la alimentación de estas es unipolar o bipolar, del número de paso por vuelta y de si su rotor es de reluctancia variable, imanes permanentes o híbridos.

En cuanto al control, existen tres modos de realizarlos, paso entero, medio paso y micropaso.

En el paso entero, cada vez que se modifica la alimentación de las fases del estator se avanza un paso disponiendo de par nominal del rotor.

En el medio paso se avanza sólo medio paso con lo que se dispone de mejor resolución, pero el par en las posiciones situadas entre pasos regulares se reduce a la mitad.

Estos dos tipos de funcionamiento disponen en el mercado de gran variedad de integrados para su control.

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

El funcionamiento en micropaso consiste en alimentar al mismo tiempo varias fases a la vez con corrientes medias distintas, de modo que la posición media del flujo en el entrehierro se puede fijar en cualquier posición. Con este funcionamiento se consigue una resolución inmejorable y existen en el mercado distintas tarjetas de control basadas en microprocesador.

Merece la pena comentar que el motor paso a paso es la primera de las máquinas eléctricas que sin el uso de la electrónica no tiene razón de ser.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos

motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique.

Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de  $1.8^\circ$ , Es por eso por lo que ese tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.



FIGURA 63. MOTOR A PASOS M17

### 2.7.7 CONTROL DE MOTORES A PASO CON ARDUINO

El control de posición de motores paso a paso se puede efectuar en lazo abierto siempre que se tomen las precauciones necesarias para no perder ningún paso. Indicaremos que utilizando técnicas de PWM para el control de la corriente, asegurando de esta manera un aprovechamiento máximo de par y con la programación adecuada de aceleración y deceleración, se puede trabajar perfectamente en lazo abierto siempre que las variaciones que el par de carga sean conocidas de antemano. Es en estas aplicaciones de carga conocida donde el motor paso a paso tiene sus posibilidades industriales. En el caso de tener que accionar cargas desconocidas, su funcionamiento en lazo cerrado sería del todo perfecto, pero el coste del transductor de realimentación generalmente no justifica esta aplicación.



FIGURA 64. BOBINADO DE MOTOR A PASOS M17

# **Capítulo III**

## **Diseño e implementación**

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Para describir la construcción del equipo (Figura 65) se utiliza un bloque general con bloques internos y flechas que muestran la interacción o comunicación entre ellos. Como todo sistema, se compone por una entrada, un proceso y una salida.

El HMI, crea un flujo de entrada/salida con dos lazos de control, uno para preparación de imagen a código G, y un segundo donde ejecuta y controla el proceso de corte y/o marcado desde la interfase mecatrónica que manipula el sistema electromecánico, entregando como salida la pieza procesada.

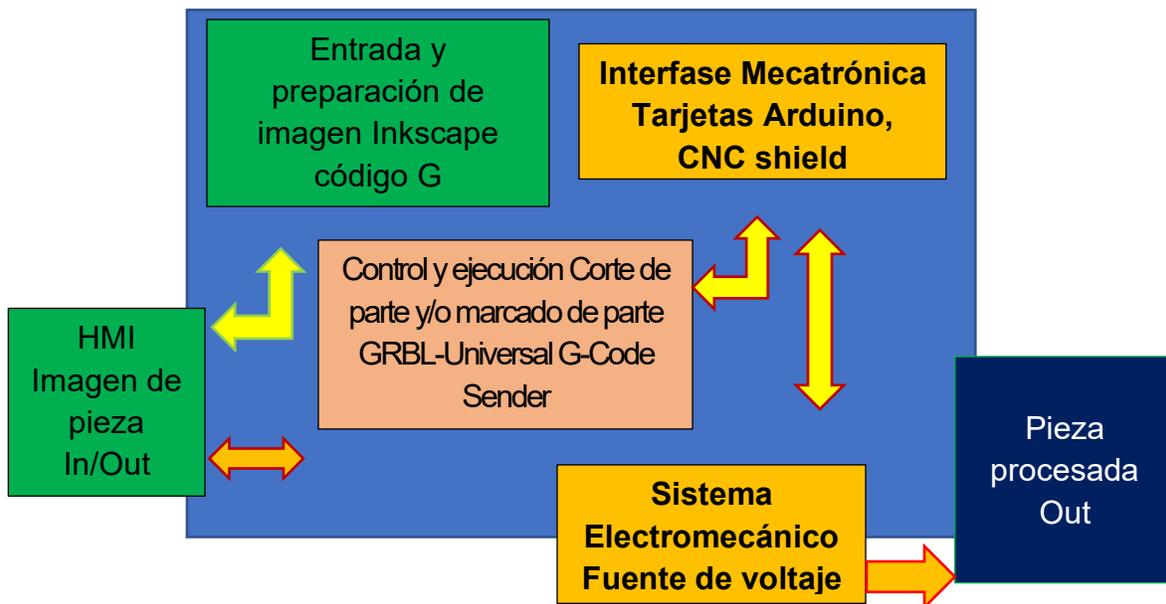


FIGURA 65. ESQUEMA MODULAR DEL EQUIPO

### 3.1 EL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO

Está conformado por una placa base de soporte a dos ejes paralelos que determinan el eje Y, unidos en su parte superior por una placa horizontal y perpendicular al eje Y para soportar el eje X, finalmente perpendicular al plano XY tenemos el eje Z. Todos ellos son movidos a través de un conjunto electromecánico formado por un tornillo que acciona el desplazamiento de la guía correspondiente a su eje mediante un acoplamiento entre el tornillo y un costado del soporte del eje. Ver figura 66.

Los ejes son deslizados por rodamientos esféricos en línea recta para los ejes X y Y. En el eje Z se tiene un herramental de montaje que se monta en el tornillo de desplazamiento y una guía que mantiene su posición. Figura 66. La transferencia de movimiento por tornillo sinfín garantiza, tener un deslizamiento fino, preciso y garantiza la limpieza en su operación.



FIGURA 66. DISEÑO PROPUESTO.

Cada eje es accionado por un motor de paso, se acopla al tornillo de desplazamiento mediante un acople corrido reforzado para el eje X y Y, y metálico para el eje Z.

### 3.2 INTERFASE MECATRÓNICA

Cuando se habla de una interfase nos referimos a los elementos o dispositivos que adaptan una señal a otra y permiten la comunicación entre dos o más elementos para la realización de un trabajo determinado, en este proceso la interfase mecatrónica (Figura 67) es la responsable permitir la comunicación entre la computadora, la plataforma de Arduino mediante la tarjeta Arduino Uno, la tarjeta Shield CNC, de Arduino, los tres motores a paso y el dispositivo láser, mediante su software de diseño o comunicación y su software de control, dicho de otra forma es la conversión de señales digitales en señales analógicas y viceversa, por lo que el software de control se comunica con el hardware mediante la interpretación de señales electrónicas y emite señales de control a los elementos finales de control como son los motores a paso y el dispositivo laser, quienes realizan la acción designada desde el diseño por el software correspondiente.

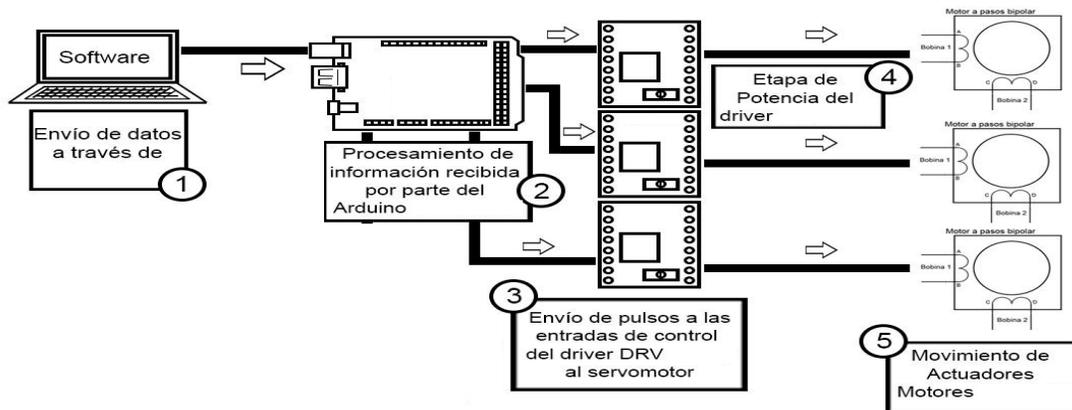


FIGURA 67. INTERFASE MECATRÓNICA

La interfase física se conforma por una laptop, dos tarjetas electrónicas (Arduino uno, CNC shield) tres motores a pasos y el dispositivo laser, teniendo un proceso de comunicación que sigue un flujo determinado, Laptop y tarjeta Arduino señales digitales, Tarjetas Arduino uno y CNC shield, señales digitales y analógicas, Tarjeta Shield CNC y Motores a paso, señales digitales y analógicas, Dispositivo láser y Tarjeta Shield CNC, con tarjeta Arduino uno Señales digitales y analógicas. Todos estos elementos se comunican entre sí para ejecutar la acción determinada por el usuario.

Mediante software de diseño gráfico como Inkscape, el usuario importa o descarga una imagen, la convierte a código G y la guarda, quedando lista para que se convierta en la pieza a ser procesada por el equipo, mediante el software G-code Sender Obtiene el archivo guardado en código G de la imagen, actualiza la imagen que será la pieza a ser procesada por el equipo y la muestra en pantalla en un plano cartesiano XY y estará lista para ejecutar la pieza, quedando pendiente la indicación de transferencia de datos a las tarjetas electrónicas, alimentar de potencia eléctrica a los motores como al dispositivo láser, colocar el material a ser procesado.

Cuando se da la señal de arranque desde la pantalla del equipo, el equipo inicia su proceso de control llevando a los diferentes motores a paso a la posición de inicio, llamada posición de home posteriormente inicia a leer el programa o código de la pieza iniciando su ejecución y procesamiento, el operado tiene en todo momento control de encendido, apagado, posicionamiento, pausa, paro del equipo y dispositivo láser y hará la acción que considere pertinente en caso de ser requerida.

Una vez construido el prototipo se verifica su operación.

1. Crea la imagen a ser procesada en cualquier software CAD, SolidWork, AutoCad, Paint o desde una imagen fotográfica.
2. Utilizando el software (InkScape) se importa la imagen en formato \*.JPG a ser procesada y convierte la imagen, obteniendo una segunda imagen (Figura 68), esta segunda imagen ya fue vectorizada y convertida en código, guardándose en formato \*.NGC.

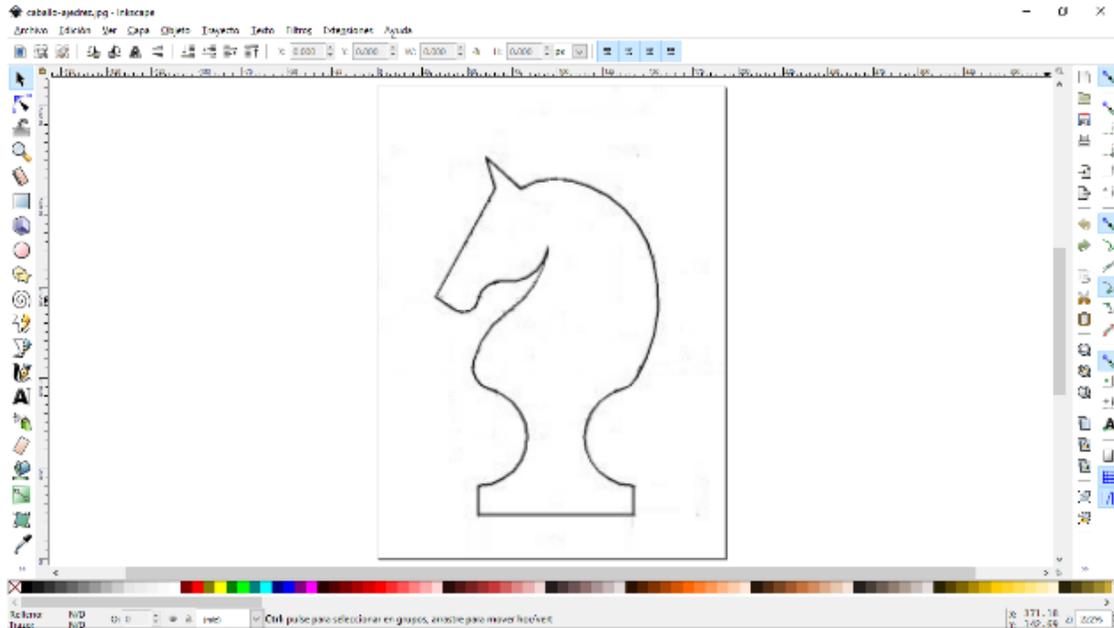


FIGURA 68. PROCESAMIENTO DE IMAGEN

3. La imagen \*.NGC es leída para ser procesada mediante el software gráfico G-Code Sender (Figura 69).

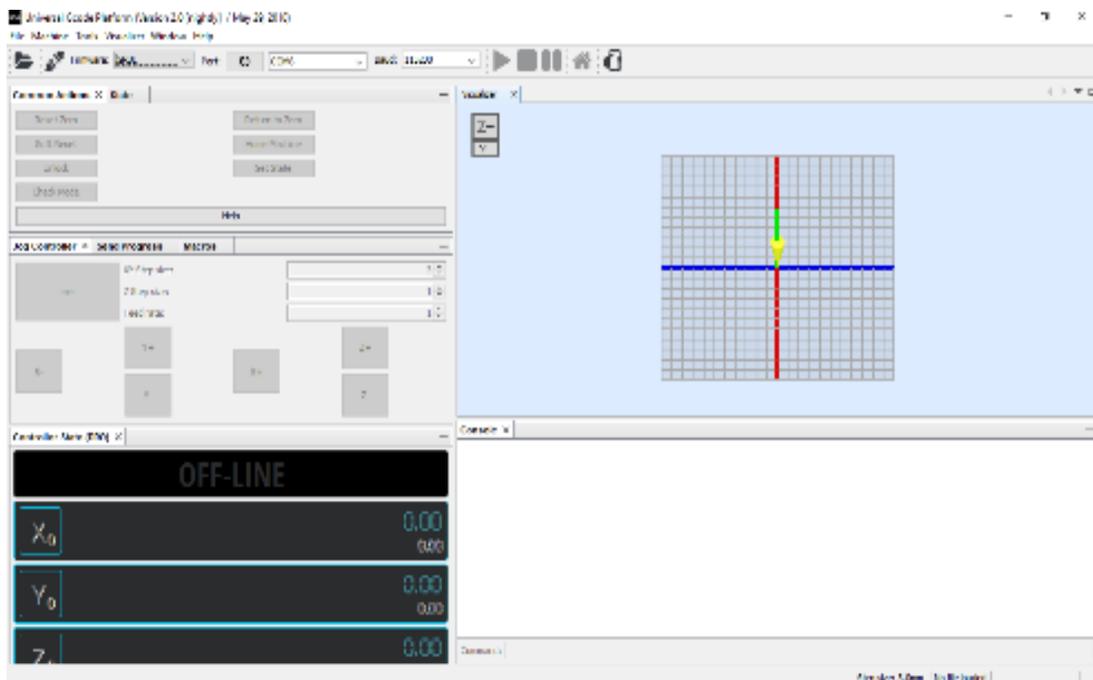


FIGURA 69. PANTALLA CONTROL G-CODE SENDER

El firmware de comunicación de Arduino (GRBL), el puerto de comunicación entre la computadora y la interfase electrónica, la velocidad de comunicación, así como los botones de Arranque, Paro, Pausa y Home del equipo. Se encuentran en la parte superior de la pantalla y son los que nos permitirán, descargar la imagen a procesar, comunicar las tarjetas de la plataforma de Arduino, leer el programa o código G de la imagen, seleccionar la velocidad de comunicación entre los diferentes dispositivos (muy importante) además de las señales de arranque, paro y pausa del proceso.

El software G-Code al leer la imagen (Figura 6). la presenta en una ventana de visualización a la derecha de la pantalla de la computadora;

En su parte inferior Izq. Muestra las ventanas de Control de desplazamiento en XYZ, tamaño de pasos, velocidad. Control manual y dos ventanas más que nos indican en tiempo real la ejecución del programa o código que se estará ejecutando al momento de arrancar la operación del equipo.

4. Al aplicar la señal de arranque, el software establece comunicación con las tarjetas electrónicas de Arduino Uno y CNC Shield, mediante un cable de comunicación USB y el puerto asignado por él equipo, derivándose ésta a cada uno de los componentes correspondientes.
5. Inicia la ejecución del código e inicia su proceso de trabajo.

# **Capítulo IV**

## **Resultados y Conclusiones**

---

# RESULTADOS Y CONCLUSIONES

## 4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se diseñó e implementó un equipo para corte e impresión de materiales por tecnología LASER el cual nos permite visualizar un panorama real de los requerimientos mínimos requeridos para el diseño y construcción de un equipo de tamaño industrial, que demanda condiciones de seguridad para el operador, como para el equipo mismo y la inversión económica que se requiere para asegurar que cada parte del equipo sea la adecuada para la función que desempeña.

La propuesta del equipo proyectado se muestra en el esquema de la figura 70, consta de un sistema electromecánico que controla el posicionamiento en los ejes XYZ de un cabezal con un actuador de rayo láser y/o plasma, un sistema de alimentación neumática y eléctrica, un sistema electrónico para el control de motores y sensores y una estructura metálica con capacidad de movilidad y protecciones de seguridad.

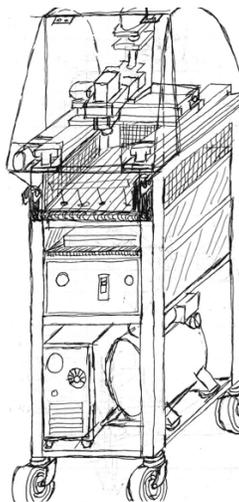


FIGURA 70. EQUIPO PROYECTADO

En nuestro caso trabajamos con un dispositivo Láser de baja potencia que implica un riesgo mínimo, pero si existe mal manejo del equipo el riesgo es alto, ejemplo, generación y extracción de gases, enfriamiento del dispositivo, protección visual, delimitación de las áreas de seguridad por operación, controles de paro de emergencia tanto para los motores como el dispositivo Láser.

El equipo ampliamente nos permite dimensionar los requerimientos en control y potencia eléctrica necesarios como el tipo de control de un equipo de mayor escala y potencia de laser en la industria.

Podemos asegurar en base a los logros alcanzados, que se comprueba que en la actualidad se cuenta con la información y conocimiento necesarios para desarrollar un proyecto de esta naturaleza, pero a mayor escala y si se dispone de los recursos para su desarrollo e implementación.

El costo actual de este tipo de maquinaria es muy superior al requerido en esta propuesta por lo que una implementación por medio de software libre y tarjetas electrónicas open source, permite abaratar costos y lograr resultados con alta precisión y calidad en marcado y corte de piezas de diferentes tipos de materiales.

Este equipo servirá de apoyo didáctico para nuestra institución educativa, permitirá, además, desarrollar prácticas de estudio para las nuevas tecnologías en el corte y marcado de materiales, además de aplicaciones en instrumentación, como de aplicaciones médicas, para la preparación de estudiantes de Ingeniería, de maestría en electrónica y otras áreas. En la figura 74 se muestra el esquema a mano alzada de la propuesta del equipo.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

### 4.2.1 SISTEMA ELECTROMECAÁNICO

Está conformado por una base metálica de 70 x 60 cm, Figura 71. cubriendo un área de trabajo de 60 por 50 cm en el plano XY, con una altura variable en el eje Z de 0 a 20 cm.

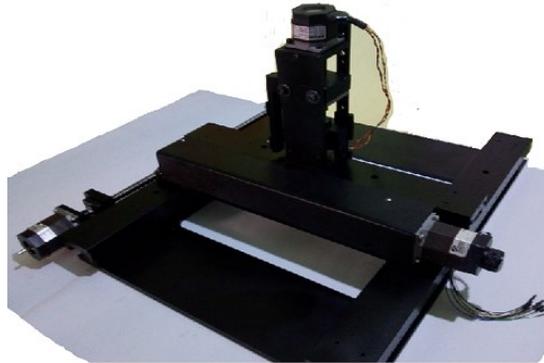


FIGURA 71. SISTEMA ELECTROMECAÁNICO

El eje X tiene una longitud de trabajo entre 0 y 50 cm y mientras que el eje Y la tiene de 0 a 60 cm, cubriendo un área de trabajo para piezas entre 1 cm<sup>2</sup> y 3000 cm<sup>2</sup>, permitiendo formar una gran cantidad de medidas comerciales para diferentes piezas. Para el eje Z Figura 72. se tiene una variación de posicionamiento de 0 a 20 cm, lo que nos permite utilizarlo en partes de hasta de 8 pulgadas de altura.

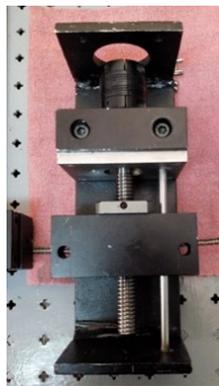


FIGURA 72. MECANISMO DEL EJE Z

Ambos ejes X y Y, (figura 73) se construyeron de un conjunto de desplazamiento lineal por medio de rodamientos en un bloque en u, que garantiza un movimiento

rectilíneo uniforme en toda su trayectoria, y es desplazado por un tornillo sinfín de media pulgada de diámetro en rosca ACME que garantiza alta linealidad y precisión en desplazamiento axial y lineal que entre otras características nos permite un movimiento de alta precisión al correr en cualquier sentido, permitiendo un desplazamiento de 5mm por giro.

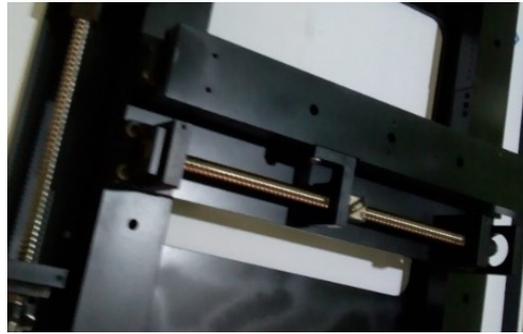


FIGURA 73. MECANISMO DE LOS EJES X Y Y

Los ejes están acoplados a un motor a pasos, respectivamente, que se alimenta a 24 Vcd, 3A, con un pazo de  $1.8^\circ$  por paso, requiriendo un total de 200 pasos por vuelta, lo que lo convierte en alta resolución,  $5\text{mm}/200 = 0.025\text{mm}$  por paso en el desplazamiento.



FIGURA 74. ACOPLAMIENTO DE EJES

Los ejes X, Y, están unidos al tornillo por coples de goma reforzado (figura 74) que nos garantiza una larga vida útil además que el equipo no soporta carga o un peso significativo lo que lo hace confiable en alta velocidad, pues el motor alcanza 1500 rpm de ser requerido.

#### 4.2.2 PRUEBAS REALIZADAS AL EQUIPO

La figura 75 muestra el momento en que se está ejecutando el proceso de marcado de una imagen, que aparece en la parte izquierda de la pantalla, para realizar esta prueba se configuro la imagen de un caballo de ajedrez en una imagen y se convirtió a código G mediante el software Inkscape, posteriormente por el software G-Code Sender se descarga la imagen en pantalla y se prepara para su procesamiento en diferentes materiales, entre ellos MDF de 3mm y papel blanco de 36 kg.

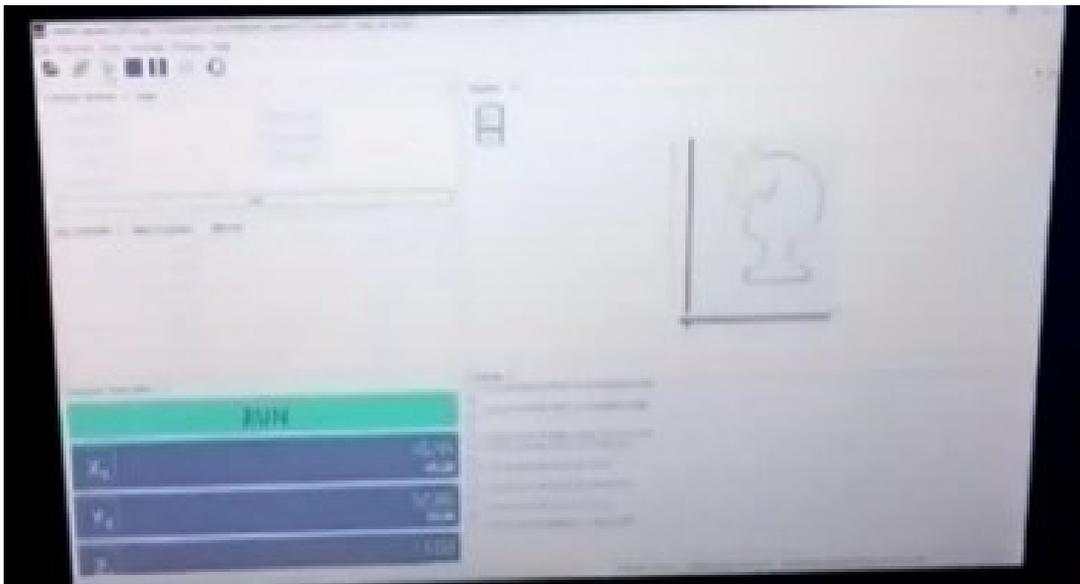


FIGURA 75. PANTALLA DE CONTROL EN OPERACIÓN.

La figura 76 muestra el momento en que se está procesando una pieza en corte, en MDF 3mm, el exceso de gas originado por la fundición del material hace difícil visualizarlo, además que puede afectar la respiración por los gases que provoca.



FIGURA 76. PROCESO DE CORTE EN MDF

En esta imagen (figura 77) se observa el proceso en que se hace una marca de material en MDF 3mm, es importante mencionar que para esta imagen se utilizó un filtro de luz laser pudiendo observar en detalle el punto de incidencia de luz o láser al momento de realizar la marca del material

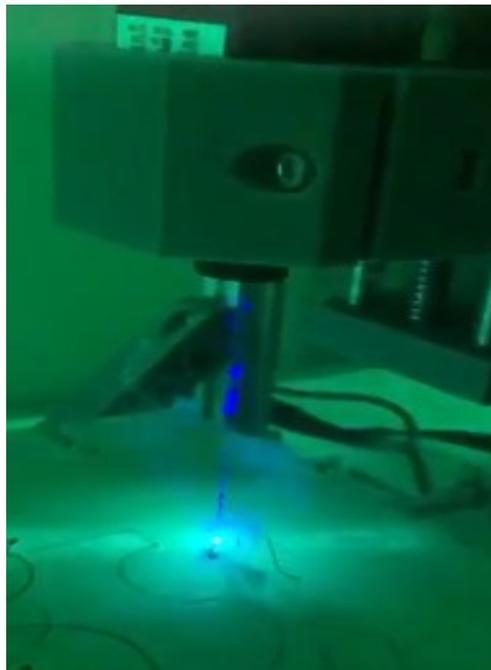


FIGURA 77. PROCESO DE MARCADO

En esta imagen (figura 78 a,b) se muestra prueba de corte de material suave, papel bond blanco de 36 kg. En la figura 79 se observa la prueba de marcado de una figura en diferentes posiciones además de un nombre, obteniendo buenos resultados.



FIGURA 78 A, B. PRUEBAS DE CORTE EN PAPEL BLANCO. 36 KG

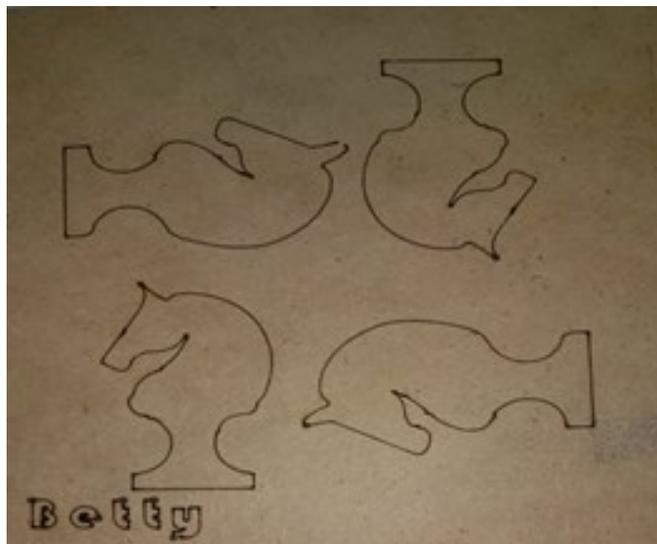


FIGURA 79. PRUEBA DE MARCADO DE MDF 3MM

#### 4.2.3 RESULTADOS DE PRUEBAS DE MARCADO Y CORTE

Se realizaron pruebas en diferentes materiales en los cuales obtuvimos sus parámetros para determinar qué características de la máquina necesita para el marcado o corte en el material deseado.

##### *PRUEBAS DE MARCADO*

Tabla 2. Características técnicas de marcado en diferentes materiales.

<b>Materiales</b>	<b>Posición del laser</b>	<b>Potencia del láser</b>	<b>Distancia de la marca</b>	<b>Velocidad de desplazamiento</b>	<b>Consumo total</b>
<b>Fomi</b>	80 mm	5W	100 mm	100 pasos/mm	2.60 A
<b>Fieltro</b>	80 mm	5w	100 mm	1000 pasos/mm	2.72 A
<b>Cartón</b>	80 mm	5w	100 mm	1000 pasos/mm	2.70 A
<b>Acrílico</b>	80 mm	5w	100 mm	70 pasos/mm	2.80 A
<b>Madera</b>	80 mm	5w	100 mm	900 pasos/mm	2.75 A

##### *PRUEBAS DE CORTE*

Tabla 3. Características técnicas para corte en diferentes materiales.

<b>Materiales</b>	<b>Posición del láser</b>	<b>Potencia del láser</b>	<b>Distancia de la marca</b>	<b>Velocidad de desplazamiento</b>	<b>Número de vueltas</b>	<b>Consumo total del equipo</b>
<b>Fomi</b>	80 mm	5w	100 mm	100 pasos/mm	1	2.78 A
<b>Fieltro</b>	80 mm	5w	100mm	250 pasos/mm	1	2.73 A
<b>Cartón</b>	80 mm	5w	100mm	100 pasos/mm	10	2.68 A
<b>Madera</b>	80 mm	5w	100mm	80 pasos /mm	20	2.66 A

Se realizaron diseños en Inkscape para realizar la conversión de pixeles a bits los cuales nos daban la facilidad de colocar vectores de referencia que seguiría la máquina para realizar el diseño.

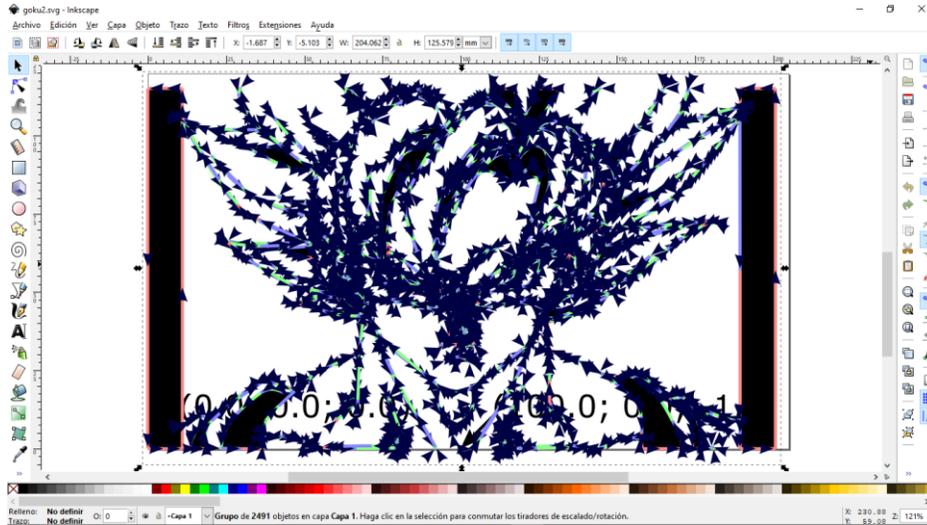


FIGURA 80. IMAGEN EN BITS CON VECTORES DE REFERENCIA

Se logro la calibración de la máquina, obteniendo como resultado cortes y marcados muy precisos y de alta calidad.



FIGURA 81. DISEÑO MARCADO EN MADERA POR MÁQUINA LÁSER

## 4.3 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.3.1 PRINCIPALES APORTACIONES DE LA TESIS

Contar con un equipo de estas características se traduce en una ventaja competitiva de fabricación, mejoramiento de maquinaria y equipos, que cumple y excede los requerimientos del cliente.

De tecnología mexicana, manufactura propia e integrada como parte del proceso de fabricación de la empresa.

Se garantiza cumplimiento de requerimientos de calidad, bajo la normatividad nacional (NOM) para fabricación de equipos bajo estándares internacionales (ISO).

Reducción de costos, satisfacción de clientes, seguridad de los trabajadores por reducción de actividades de riesgo por corte con abrasivos.

### 4.3.2 PRINCIPALES RESULTADOS

En este trabajo se presenta un prototipo estandarizado en código abierto para marca y corte de materiales con tecnología láser (ver figura 82 y 83). Se propone el uso de software libre para actividades de preparación, procesamiento, conversión código G, y control CNC de posicionamiento XYZ, ejecutado por motores a pasos M17, comunicado por interfaz hombre-máquina desde una laptop a tarjetas electrónicas. Puede ser operado manualmente o en automático, el corte y marca de materiales es ejecutado por láser, Con potencia variable que se controla entre 0 a 5.5 W mediante frecuencia de control 0-50 kHz para actividad de marca o corte según el material. Orientado a la enseñanza de alumnos en ingeniería y maestría del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (ITCG), escalable a uso industrial por aplicación de alta potencia de láser en corte y grabado, para aplicaciones de corte y marca de metal, como acero inoxidable.



FIGURA 82. PROTOTIPO A ESCALA PEQUEÑA PARA MARCADO Y CORTE CON LÁSER



FIGURA 83. PROTOTIPO ESTANDARIZADO CON ACTUADOR DE PLASMA

#### 4.2.5 PARTICIPACIÓN EN EVENTOS ACADÉMICOS

*CONCURSO EVENTO NACIONAL ESTUDIANTIL DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA 2019 (ENEIT 2019).*

Se participó con el proyecto en el ENEIT 2019 en las tres etapas, local, regional y nacional. La etapa regional se llevó a cabo en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. Los días 24,25,26 y 27 de septiembre, la Figura 84 muestra al equipo de alumnos exponiendo y defendiendo el proyecto bajo el nombre del equipo CPLaser.



FIGURA 84. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO EN EL STAND “ETAPA REGIONAL”

Teniendo como resultado la acreditación a la etapa nacional, se participó en el mes de noviembre en la ciudad de Zacatecas los días 12,13,14 y 15 de noviembre donde se tuvo la participación de alrededor de 126 Tecnólogos y más de 200 proyectos (Figura 85 y 86).



FIGURA 85. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO “ETAPA NACIONAL”



FIGURA 86. CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN ENEIT 2019 “ETAPA NACIONAL”

El 27, 28 y 29 de noviembre de 2019 se participó en la semana de ciencia y tecnología en las instalaciones del CECYTEJ Zapotiltic, Jal, con la impartición de una ponencia en colaboración de mi asesor, el Dr. Ramón Chávez Bracamontes. Al mismo tiempo se expuso y demostró la operación del proyecto CPLaser a los estudiantes de escuelas de educación media superior de la región. En la figura 87 se muestra la constancia de participación en la conferencia.



FIGURA 87. CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN EN CONFERENCIA DE DIVULGACIÓN EN CECYTEJ ZAPOTILTIC.

## 4.2.4 PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS ACADÉMICOS Y PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

La figura 88 muestra las portadas de dos artículos que se publicaron en la revista de Pistas Educativas del Tecnológico Nacional de México en Celaya, publicados en el mes de noviembre de 2019.

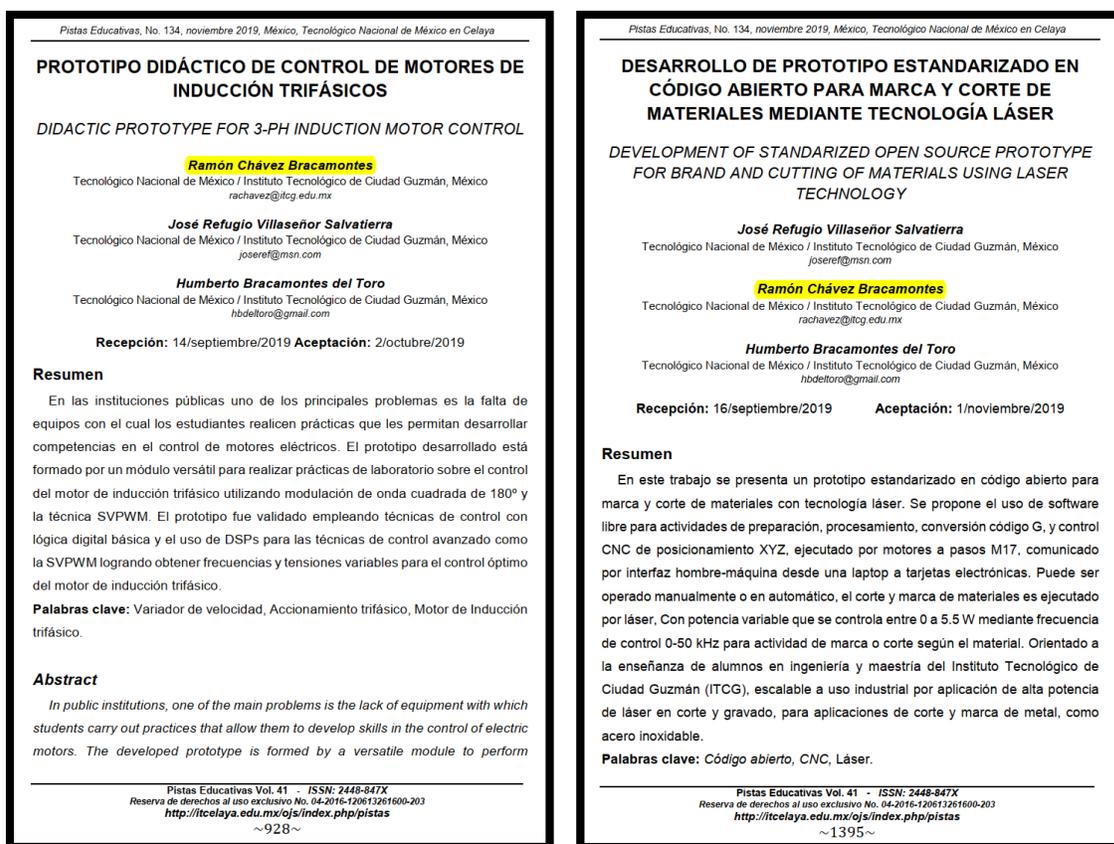


FIGURA 88. ARTÍCULOS PUBLICADOS EN 2019.

También en el año de 2018 se colaboró en la redacción de un artículo con mi asesor el cual se envió para su publicación en la revista de Pistas Educativas del Tecnológico Nacional de México en Celaya, los cuales fueron publicados en el mes de noviembre de 2018.

## **IMPLEMENTACIÓN EN CHIP VLSI DEL ALGORITMO CORDIC PARA LA SOLUCIÓN DE FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS**

*VLSI ON-CHIP IMPLEMENTATION OF THE CORDIC ALGORITHM  
FOR THE SOLUTION OF TRIGONOMETRIC FUNCTIONS*

**Ramón Chávez Bracamontes**

Tecnológico Nacional de México en Ciudad Guzmán  
*rachavez@itcg.edu.mx*

**Víctor Manuel Vidrios Núñez**

Tecnológico Nacional de México en Ciudad Guzmán  
*victorm15290023@itcg.edu.mx*

**José Refugio Villaseñor Salvatierra**

Tecnológico Nacional de México en Ciudad Guzmán  
*joseref@msn.com*

**Humberto Bracamontes del Toro**

Tecnológico Nacional de México en Ciudad Guzmán  
*hbdeltoro@gmail.com*

**Jesús Ezequiel Molinar Solís**

Tecnológico Nacional de México en Ciudad Guzmán  
*molinar@gmail.com*

**Marco Antonio Gurrola Navarro**

Universidad de Guadalajara–Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería  
*marco.gurrola@cucei.udg.mx*

### **Resumen**

En este trabajo se presenta una implementación del algoritmo CORDIC en tecnología VLSI con una arquitectura de 16 bits. Se propone una forma simplificada para resolver las funciones trigonométricas básicas por hardware con tiempos de ejecución de entre 16 y 36 ciclos de reloj. El diseño de la arquitectura fue sintetizado para fabricarse en un proceso de tecnología CMOS de 0.5 micras de On Semiconductor sobre un área de 1.88 mm<sup>2</sup>. Este diseño nos habilita la generación de módulos IP aritméticos de alta eficiencia que nos permitirá el

## 4.2.5 TRÁMITES ANTE EL INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL

Se realizó el trámite de búsqueda del estado de la técnica en las oficinas del IMPI con la finalidad de identificar las posibilidades de registro de patente ó modelo de utilidad. La imagen de la figura 90 muestra los resultados de búsqueda emitidos por el IMPI.

IT/S/2019/000243  
**DIRECCIÓN DIVISIONAL DE PROMOCIÓN Y SERVICIOS DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICA**  
 REPORTE DE BÚSQUEDA DEL ESTADO DE LA TÉCNICA  
 Folio de Salida: IT/S/2019/000243  
 Folio de Solicitud: IT/B/2019/000206  
 Folio del Expediente: IT/E/2019/001242  
 CDMX  
 "2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"  
 23 de abril de 2019

**RAMON CHAVEZ BRACAMONTES**  
 Presente

En relación a su solicitud de búsqueda de información tecnológica con fecha de presentación 05 de abril de 2019, correspondiente a:

DISPOSITIVO MULTIFUNCIONAL PARA CORTE DE MATERIALES POR SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE TECNOLOGÍA LÁSER O PLASMA, CON UN SISTEMA MÉCANICO CONTROLADO A TRAVÉS DE TARJETAS ELECTRÓNICAS Y UN SISTEMA

A continuación se presentan los siguientes resultados:

BASE DE DATOS	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	DOCUMENTOS ENCONTRADOS
IMPI (SIGA)	CLASB23k* and (laser or plasma) and (internet or inalambrico or remoto); CLASB23k* and (laser or plasma) and (cort*) and (remoto or inalambr* or intern*)	8
DERWENT INNOVATION	CTB=(CUT* AND (LASER OR PLASMA)) NOT CTB=(WELDING) AND CTB=(WIRELESS OR INTERNET) AND IC=(B23k);	18
DERWENT INNOVATION	CTB=(CUT* AND (LASER and PLASMA)) NOT CTB=(WELDING) AND IC=(B23k);	463
INTERNET	(laser AND plasma) and (cort*) and (remoto or inalambr* or intern*)	10
<b>TOTAL DE DOCUMENTOS</b>		<b>499</b>

El presente informe no corresponde al dictamen técnico al que se refiere el artículo 225 de la Ley de la Propiedad Industrial, tampoco constituye una opinión legal, ni sirve de base para el examen al que se ajustan las solicitudes para el otorgamiento de un derecho de propiedad industrial.

ATENTAMENTE

Firma Digital del Supervisor: J3FDHpp59pUlovCGBZJn8uWkFB/3Hv+45L//fa965CW0lxHIS67Wr8/UfXgnYk0vd6CknurkMSs7yTy2l/gqADMA  
 A2685Tzst9YKSYDdFliwXhJCCU+dFVHj+wgPt0r7BQPHb1cqzG2jIt4gytwVplzVwpcdUvxOGPh7wxgndpt099

COORDINADOR DEPARTAMENTAL DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICA  
 LEONARDO GOMEZ BAUTISTA

Búsqueda elaborada por: Jennifer Elizabeth Rivas Gutiérrez  
 buzonic@impi.gob.mx  
 (55) 53340746 y 53340700 extensión 10046

Arenal No. 550, Sótano 1, Pueblo de Santa María Tepepan, Xochimilco, C.P. 01600, CDMX  
 www.gob.mx/impi Creatividad para el Bienestar

FIGURA 90. RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA DEL ESTADO DEL ARTE.

Se hizo la búsqueda tecnológica que aplica con tecnología Láser o plasma para corte y grabado de materiales, entre ellos metales como acero inoxidable, Se observa que estas tecnologías aun cuando hace tiempo que se descubrieron los equipos existentes en el mercado, son de fabricación extranjera, encontrando que se fabrican en Alemania, Japón, Estados Unidos, China entre otros, no siendo más de ocho fabricantes en el mundo.

No se encontraron antecedentes, artículos, tesis de ingeniería o maestría en el Instituto tecnológico de ciudad Guzmán que involucren el diseño, mejora o construcción de un equipo que utilice tecnología láser o plasma para marcado y corte de materiales, que además sea controlado por software CNC open source y hardware de uso libre.

También se verificó que en todos ellos no se hace uso de la tecnología open source ni de plataformas de uso libre, en cambio son tecnologías de un alto costo por la marca para la industria mexicana, por lo que se tiene un gran reto el unir este tipo de tecnologías en un prototipo controlado por software open source y plataformas de uso libre.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez A., Estudio y construcción de un Láser: Tesis Grado en Física. 2016.

Alonso F. B., Arias T.I., El Laser La Luz de nuestro tiempo, noviembre 2010.

Castillo O. J., Acosta F. S.I., García A. E., Diseño e implementación de un router CNC, Pistas educativas #130, noviembre 2018

Decanini Alfredo E., Introducción a los sistemas LASER y sus aplicaciones, Tesis Universidad Autónoma de Nuevo León, noviembre 1988

Delgado S.J. Contribución a la fundición selectiva por láser de pieza metálica mediante el estudio de propiedades mecánicas y de manufactura, Tesis Doctoral 2013

Díaz del C. R. F., Procesos de maquinado sin arranque de Viruta, UNAM; 2011

Horath L. Computer Numerical Control: Programing of machines, Prentice Hall, 1993.

Marks Csele, John Wiley & Sons. Fundamentals of light source and lasers. 2004.

McRoberts Michael, Beginning Arduino; Apress 2010

Vergara B. A., García O.F., Gaona R. J.G., Cortés M.C., Robot Cartesiano de 3 gdl para inspección de esfuerzos residuales mediante principio de fotoelasticidad Pistas educativas #128 (SENIE 2017), febrero 2018

Zacarias M.H, El Laser Fundamentos y aplicaciones, Centro de Investigaciones en óptica, julio 2010.

# **Capítulo V**

## **Anexos**

## A DOCUMENTOS OFICIALES PARA EL TRÁMITE DE GRADO

A continuación, se incluyen la serie de documentos que se requieren para el trámite del acto de recepción profesional para el otorgamiento del grado de maestro en ingeniería electrónica.

The image shows an official letter on a light-colored background with a large, faint watermark of a stylized face. At the top left is the logo of the Secretaría de Educación Pública (SEP) and the word "EDUCACIÓN" in red, with "SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA" below it. To the right is the logo of the Instituto Tecnológico Nacional de México (ITC) and the text "Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán". Below the logos, the date "2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria" is printed. The location and date are "Cd. Guzmán, Jal., 5 agosto/2020" and the subject is "Asunto: Aceptación de tesis de maestría". The recipient is "M.E.H. Marco Antonio Sosa López, Jefe de Departamento de Eléctrica y Electrónica, PRESENTE." The body of the letter states that the thesis committee meeting for the thesis of "JOSÉ REFUGIO VILLASEÑOR SALVATIERRA" was held on August 4, 2020, and the thesis title is "EQUIPO PARA MARCADO Y CORTE DE MATERIALES CON TECNOLOGÍA LÁSER Y PLASMA". The committee recommends approval for printing. The letter is signed by the Director of Thesis, Ramon Chávez Bracamontes, and two tutors. At the bottom, contact information for the ITC is provided, along with several accreditation logos.

EDUCACIÓN  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Cd. Guzmán, Jal., 5 agosto/2020  
Asunto: Aceptación de tesis de maestría

M.E.H. Marco Antonio Sosa López  
Jefe de Departamento de Eléctrica y Electrónica  
PRESENTE.

Por este medio informo a usted que en reunión del Comité Tutorial para la revisión del trabajo de Tesis del maestrante C. JOSÉ REFUGIO VILLASEÑOR SALVATIERRA, con número de control MI7290021, celebrada el 4 de agosto de 2020 y con base en el Documento Normativo de las Disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado, la tesis intitulada:

"EQUIPO PARA MARCADO Y CORTE DE MATERIALES CON TECNOLOGÍA LÁSER Y PLASMA"

se APRUEBA en su totalidad, por haber cubierto los objetivos a alcanzar y corregido todas las observaciones que le fueron indicadas. Por lo anterior, recomendamos se le otorgue la autorización de impresión de la misma.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano la atención al presente, me es grato quedar de usted.

ATENTAMENTE

EL COMITÉ TUTORIAL

Dr. Ramón Chávez Bracamontes  
Dr. Jesús Ezequiel Molinar Solís  
Dr. Jaime Jalomo Cuevas

Director de Tesis Ramón Chávez Bracamontes  
Tutor de Tesis Jesús Ezequiel Molinar Solís  
Tutor de Tesis Jaime Jalomo Cuevas

c.p. Coordinador de Posgrado  
c.p. Consejo de Posgrado

Av. Tecnológico No. 100 C.P. 49100 A.P. 150  
Cd. Guzmán, Jal. Tel. Conmutador (341) 5752050  
www.tecnm.mx | www.itcg.edu.mx

www.dgpa.com/Planes de Estudios/2018

FIGURA 91. CARTA DE ACEPTACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS.

## B DOCUMENTO DE CONVENIO ENTRE LA EMPRESA HOLOS INDUSTRIAL Y EL ITCG

En las figuras 92 y 93 se colocó un extracto del convenio de colaboración entre la empresa y la institución, el cual se firmó el mes de diciembre de 2017.

**CONVENIO MARCO DE COLABORACIÓN ACADÉMICA, CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA** QUE CELEBRAN, POR UNA PARTE, EL **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. GUZMÁN**, EN LO SUCESIVO EL **"INSTITUTO"**, REPRESENTADO EN ESTE ACTO POR EL **ING. JOSÉ ROBERTO GUDIÑO VENEGAS**, EN SU CARÁCTER DE DIRECTOR, Y POR LA OTRA PARTE **INGENIERÍA PROCESOS Y ENVASADOS DE R. L. DE C.V.** A QUIEN EN LO SUCESIVO SE LE DENOMINARÁ LA **"EMPRESA"**, REPRESENTADA POR **ING. EDGAR EDUARDO ALVAREZ LOPEZ**, EN SU CARÁCTER DE REPRESENTANTE LEGAL, Y A QUIENES, ACTUANDO CONJUNTAMENTE, SE LES DENOMINARÁ LAS **"PARTES"**, AL TENOR DE LAS DECLARACIONES Y CLÁUSULAS SIGUIENTES:

**DECLARACIONES**

I. Del **"INSTITUTO"**:

I.1. Que es un plantel educativo, adscrito al Tecnológico Nacional de México, de conformidad con el artículo 1º, párrafo segundo, del Decreto que crea el Tecnológico Nacional de México, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de julio de 2014, por el que la Secretaría de Educación Pública ha venido impartiendo la educación superior y la investigación científica y tecnológica.

I.2. Que en su carácter de plantel educativo adscrito al Tecnológico Nacional de México, participa en la prestación, desarrollo, coordinación y orientación de los servicios de educación superior tecnológica, en los niveles de técnico superior universitario, licenciatura y posgrado, en las modalidades escolarizada, no escolarizada a distancia y mixta; así como de educación continua y otras formas de educación que determine el Tecnológico Nacional de México, con sujeción a los principios de laicidad, gratuidad y de conformidad con los fines y criterios establecidos en el artículo 3º, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, según lo establecido en el artículo 2º, fracción I, del Decreto que crea el Tecnológico Nacional de México, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de julio de 2014.

FIGURA 92. EXTRACTO INICIAL DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA EMPRESA HOLOS Y EL ITCG.

mediación, la conciliación o cualquier otro método alternativo o ante las instituciones o personas que las "PARTES" designen para ello.

En caso de no llegar al acuerdo de mediación, conciliación o cualquier otro método, las "PARTES" convienen someterse a la jurisdicción de los Tribunales en el Estado de Jalisco, haciendo renuncia expresa de cualquier otro fuero que pudiere corresponderles por razón de su domicilio presente o futuro, o que por cualquier otra razón pudiera corresponderles.

Leído el presente contrato por las partes que en él intervienen y manifestándose sabedoras de sus fines y alcance legal, lo firman en tres ejemplares originales de plena conformidad en el lugar y la fecha que aparecen al calce de las firmas de sus respectivos representantes, agregando que el presente documento se celebró sin existir error, dolo, o violencia de la voluntad de cualquiera de las partes que pudiera afectar su validez.

Ciudad Guzmán, Zapotlán el Grande, Jalisco, México, a los 15 días del mes de Diciembre de 2017.

<p><b>POR EL "INSTITUTO"</b></p>  <p>ING. JOSÉ ROBERTO GUDIÑO VENEGAS <b>DIRECTOR</b></p>	<p><b>POR LA "EMPRESA"</b></p>  <p>ING. EDGAR EDUARDO ALVAREZ LOPEZ <b>REPRESENTANTE LEGAL</b></p>
--	--

LAS FIRMAS QUE ANTECEDEN CORRESPONDEN AL CONVENIO MARCO DE COLABORACIÓN ACADÉMICA QUE CELEBRAN POR UNA PARTE, EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD GUZMÁN, Y POR OTRA PARTE INGENIERÍA PROCESOS Y ENVASADOS DE R. L. DE C.V., EN FECHA 15 DE DICIEMBRE DE 2017 CONSTANTE DE 10 FOJAS ÚTILES DEBIDAMENTE RUBRICADAS EN CADA UNA DE ELLAS Y AL CALCE DEL DOCUMENTO.

FIGURA 93. EXTRACTO FINAL DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA EMPRESA HOLOS Y EL ITCG.