

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: SISTEMA MULTIFUNCIÓN DE PROTOTIPADO RÁPIDO  
MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA CNC PARA DESBASTE  
POR FRESADO Y GRABADO POR LÁSER A UNA IMPRESORA 3D MULTI-  
EXTRUSOR.**

**AUTOR: HARO MORALES LUIS MIGUEL**

**DIRECTOR: ING. CHRISTIAN VÁSQUEZ**

**IBARRA-ECUADOR**

**2018**



## AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100329085-3		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Haro Morales Luis Miguel		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Cotacachi, Quiroga, Barrio la Victoria		
<b>EMAIL:</b>	lmharo@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062-537-311	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0979859132

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	<b>SISTEMA MULTIFUNCIÓN DE PROTOTIPADO RÁPIDO MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA CNC PARA DESBASTE POR FRESADO Y GRABADO POR LÁSER A UNA IMPRESORA 3D MULTI-EXTRUSOR.</b>
<b>AUTOR:</b>	Haro Morales Luis Miguel
<b>FECHA:</b>	06 de julio 2018
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Christian Vásquez

## **AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Haro Morales Luis Miguel con cédula de identidad Nro. 1003290853, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional, y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

### **CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se ha desarrollado sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes julio del 2018



HARO MORALES LUIS MIGUEL  
100329085-3



**UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**INGENIERIA MECATRONICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente Trabajo de Grado “SISTEMA MULTIFUNCIÓN DE PROTOTIPADO RÁPIDO MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA CNC PARA DESBASTE POR FRESADO Y GRABADO POR LÁSER A UNA IMPRESORA 3D MULTI-EXTRUSOR”, fue desarrollado por el egresado Haro Morales Luis Miguel, bajo mi supervisión lo cual certifico en honor a la verdad.

ING. CHRISTIAN VÁSQUEZ  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, que siempre buscó hacerme una persona de bien, útil para la sociedad, mis amigos que me apoyaron y alentaron, y a los profesores que brindaron sus conocimientos para poder alcanzar una meta más en mi vida.

Luis Haro

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres a quienes debo todo mis logros, incluido este, gracias por haberme forjado como una persona de bien. A mi abuelita por la paciencia y el aprecio que siempre me brinda, a mi abuelito que desde el cielo me observa y me protege, a mi hermano por su constante apoyo para verme triunfar, a mis tíos y tías que me brindaron todo su apoyo en las buenas y en las malas, a mis primos y primas por estar apoyándome incondicionalmente, gracias a todos.

Al Ing. Christian Vásquez por haberme guiado y apoyado con sus conocimientos en todo el proyecto.

Luis Haro

## RESUMEN

El presente documento contiene información sobre procesos de grabado o corte por láser y mecanizado, adaptado a un prototipo multifuncional de control numérico computarizado (CNC), que cuenta con funciones de impresión 3D, con capacidad máxima para tratar el aluminio 2024. El sistema trabaja con una tarjeta electrónica Duet 3D que permite la expansión de puertos adicionales para procesos complementarios, como el montaje de elementos electrónicos, la instalación de un cuarto eje, manufactura aditiva, entre otros.

Los elementos que conforman la máquina de impresión 3d multiextrusor, están conectados de manera independiente y controlados por una interfaz HMI la cual permite activar de manera intuitiva las diferentes prestaciones de la máquina multifunción “3D MILLAPRINT” en el desarrollo de elementos de prototipado rápido.

## **ABSTRACT**

This document contains information on processes of engraving or cutting by laser and machining, adapted to a multifunctional prototype of computerized numerical control (CNC), which has 3D printing functions, with maximum capacity to treat aluminum 2024. The system works with a Duet 3D electronic card that allows the expansion of additional ports for complementary processes, such as the assembly of electronic elements, the installation of a fourth axis, additive manufacturing, among others.

The elements that make up the 3D multiextruder printing machine, are connected independently and controlled by an HMI interface which allows to intuitively activate the different features of the "MILLAPRINT 3D" multifunction machine in the development of rapid prototyping elements.



**ÍNDICE DE CONTENIDO**

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	III
CONSTANCIAS.....	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XX
CAPITULO I.....	1
Planteamiento del problema.....	1
Objetivos.....	1

	x
Objetivo General .....	1
Objetivos Específicos.....	1
Antecedentes .....	2
Justificación.....	2
Alcance.....	3
CAPÍTULO II .....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Control numérico .....	4
2.2. Control Numérico por Computador (CNC) .....	4
2.3. Sistemas de control de movimiento .....	5
2.3.1. Control numérico punto a punto .....	5
2.3.2. Control numérico Paraxial. ....	6
2.3.3. Control numérico de Contorneo .....	6
2.4. Interpolación .....	7
2.5. El proceso de fresado. ....	9
2.6. Operaciones relacionadas con el fresado. ....	9
2.6.1. Planeado .....	9
2.6.2. Vaciado .....	10

2.6.3. Grabado .....	11
2.6.4. Taladrado.....	11
2.7. Elementos de fijación.....	12
2.7.1. Prensa .....	12
2.7.2. Bridas .....	13
2.7.3. Calzos.....	14
2.7.4. Escuadras.....	14
2.7.5. Fijación de la fresa a la máquina.....	15
2.8. Láser .....	15
2.8.1. Dispositivo láser.....	15
2.8.2. Modos de operación de láser:.....	16
2.8.3. Características del láser de diodo. ....	17
2.9. Sistemas láser como herramienta de trabajo. ....	18
2.9.1. Óptica móvil.....	18
2.10. Sistema eléctrico .....	18
2.10.1. Tarjeta controladora duet 3d .....	18
2.10.3. Panel Duet .....	19
2.11. Sensores .....	20
2.11.1. Finales de carrera .....	20
2.12. Interfaz hombre maquina (HMI).....	21

2.13. Sistemas de control .....	22
2.13.1. Sistemas de lazo abierto .....	22
2.14. Software de código abierto .....	22
CAPÍTULO III .....	24
METODOLOGÍA .....	24
3.1. Pasos para el diseño. ....	24
3.2. Requisitos funcionales .....	24
3.3. Requisitos de diseño.....	26
3.4. Selección de alternativas .....	26
3.5. Adaptabilidad al sistema 3D millaprint.....	27
3.5.1. Selección de motor herramienta.....	27
3.6. Diseño y cálculos de los elementos mecánicos de la máquina CNC. ....	28
Velocidad de giro del husillo (N).....	28
Velocidad de avance(s` ).....	29
Volumen de viruta arrancado o cantidad máxima posible (V). ....	29
Potencia de la motor herramienta (P).....	30
3.6.1. Memoria de cálculo:.....	30
3.6.2. Otros parámetros de selección. ....	34
3.6.4. Cálculo de fuerzas .....	35

3.7. Distribución de los cabezales láser y fresa.....	35
3.8. Selección del material de la placa de soporte del láser, motor herramienta fresa, sistema giratorio de impresión. ....	36
3.9. Diseño de la mesa de trabajo.....	36
3.9.1. Selección de resorte para la nivelación de la cama .....	38
3.9.2. Nivelación y corrección de alturas en la mesa de trabajo. ....	40
3.9.3. Selección del tipo de sujeción .....	42
3.9.4. Selección del material para los sujetadores.....	43
3.9.5. Selección del tornillo de las bridas.....	43
3.10. Sistemas de velocidad variable .....	43
3.11. Selección del láser.....	45
3.11.1. Láser Azul-Violeta de 15000mW .....	47
3.12. Diseño de la interface HMI. ....	47
3.12.1. Circuito selector de funciones.....	48
3.13. Circuitos secundarios para el mando del sistema láser y de mecanizado (activación y desactivación) .....	49
3.14. Parámetros de diseño y selección del software de control. ....	50
Generación de código G.....	50
3.14.1. Modificación del código G para poder controlar el sistema láser.....	51
3.14.2. Software para control de la máquina multifunción .....	52

3.14.3. Configuración de los parámetros del firmware de la tarjeta controladora Duet. ....	52
3.14.4. Código para el cero máquina. ....	52
3.15. Selección del proceso de la máquina. ....	53
3.16. Proceso de láser CNC. ....	54
3.17. Proceso de mecanizado CNC. ....	55
3.18. Proceso de impresión 3D. ....	56
CAPÍTULO IV .....	57
PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO .....	57
4.1. Resultado del funcionamiento del acople .....	57
4.2. Codificación de las pruebas realizadas .....	58
4.3. Resultado del funcionamiento del láser .....	58
4.3.1. Primera etapa.....	59
4.3.2. Segunda Etapa.....	66
4.3.3. Tercera Etapa .....	72
4.4. Resultado del funcionamiento sistema de mecanizado.....	73
4.4.1. Primera etapa.....	74
4.4.2. Segunda Etapa.....	77
4.4.3. Tercera etapa .....	79

4.5. Costos del proyecto.....	79
CAPÍTULO V .....	81
Conclusiones .....	81
Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFÍA .....	83
ANEXOS. ....	89
Anexo 1. Propiedades mecánicas promedio para ingeniería.....	89
Anexo 2. Air cooled square spindle. ....	89
Anexo 3. Características láser. ....	89
Anexo 4. Catálogo pernos avellanados .....	89
Anexo 5. Muelle helicoidal .....	89
Anexo 6. Perfil en x .....	89
Anexo 7. Variador de frecuencia .....	89
Anexo 8. Micro-Atmega8 .....	89
Anexo 9. Código para “selección de funciones”.....	89
Anexo 10. Lamina base x.....	89
Anexo 11. Lamina Soporte Plato Multiextrusor1 .....	89

Anexo 12. Lamina explosionada total1 .....	89
Anexo 13. Plano de potencia CNC .....	89
Anexo 14. Plano eléctrico CNC .....	89
Anexo 15. Manual de usuario 3D MILLAPRINT .....	89



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Control punto a punto.....	5
Figura 2. Control Paraxial.....	6
Figura 3. Control de Contorneo. ....	7
Figura 4. Interpolación Lineal.....	8
Figura 5. Interpolación Circular.....	8
Figura 6. Fresado por planeado.....	10
Figura 7. Fresado por vaciado.....	11
Figura 8. Fresad por grabado. ....	11
Figura 9. Taladrado.....	12
Figura 10. (A) Prensa Sencilla (B) Prensa de Base Giratoria. ....	13
Figura 11. Juego de bridas. ....	14
Figura 12. Calzos en “V”.....	14
Figura 13. Escuadra angular. ....	15
Figura 14. Pinzas.....	15
Figura 15. Sección longitudinal de un láser de diodo.....	16
Figura 16. Cambio de la longitud de onda del láser de diodo con la temperatura.....	17
Figura 17. Tarjeta duet 0.8.5.....	19
Figura 18. Panel Due Electrónica de impresión.....	19
Figura 19. Final de carrear.....	20
Figura 20. Sensor ir.....	21
Figura 21. Panel interfaz.....	21
Figura 22. Sistema lazo abierto.....	22

Figura 23. Motor Herramienta.....	34
Figura 24. Distribución de las herramientas .....	36
Figura 25. Perfiles de aluminio 40x40.....	37
Figura 26. Mesa de trabajo.....	38
Figura 27. Traslación horizontal con carga normal. ....	38
Figura 28. Nivelación de la mesa.....	41
Figura 29. Mesa de trabajo.....	42
Figura 30. Sujetadores. ....	42
Figura 31. Variador de frecuencia. ....	44
Figura 32. Laser Azul-Violeta. ....	47
Figura 33. Selector de función.....	48
Figura 34. Interfaz 3D MILLAPRINT.....	49
Figura 35. ON OFF e Interface motor herramienta. ....	49
Figura 36.Circuito opto acoplador. ....	50
Figura 37. Diagrama de flujo de selección del proceso .....	53
Figura 38. Diagrama de flujo del proceso de corte o grabado CNC Láser.....	54
Figura 39. Diagrama de Flujo del proceso de mecanizado CNC.....	55
Figura 40. Diagrama de Flujo del proceso de impresión 3D. ....	56
Figura 41. Sistema multifunción montado sobre el eje X.....	57
Figura 42. Prueba de corte de madera.....	60
Figura 43. Prueba de corteo de cartón prensado.....	61
Figura 44.Prueba de grabado en acero inoxidable.....	63
Figura 45. Prueba de corte de tela.....	63

Figura 46. Prueba de corte de cuero.....	65
Figura 47. Prueba de grabado en piedra.....	66
Figura 48. Prueba de grabado en madera.....	67
Figura 49. Prueba de corte de foami. ....	68
Figura 50. Prueba de corte de cartulina. ....	70
Figura 51. Prueba de corte de papel.....	72
Figura 52. Prueba de mecanizado en madera.....	75
Figura 53. Prueba de mecanizado en baquelita.....	76
Figura 54. Prueba de mecanizado en acrílico. ....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de la impresora 3D MILLAPRINT .....	25
Tabla 2. Parámetros de diseño .....	26
Tabla 3. Criterios de ponderación para la selección de alternativas. ....	27
Tabla 4. Criterios de ponderación para la selección de alternativas. ....	27
Tabla 5. Velocidad de corte en m/min .....	31
Tabla 6. Tabla de avance por diente .....	32
Tabla 7. Datos de volumen de viruta .....	33
Tabla 8. Datos de resorte. ....	40
Tabla 9. Criterios de selección del láser. ....	45
Tabla 10. Código G posicionamiento home .....	52
Tabla 11. Valores para corte y grabado .....	59
Tabla 12. Valores de grabado y corte para madera.....	60
Tabla 13. Valores de grabado y corte para cartón prensado. ....	61
Tabla 14. Valores de grabado y corte para foami. ....	62
Tabla 15. Valores de grabado para acero inoxidable.....	62
Tabla 16. Valores de grabado y corte para tela.....	63
Tabla 17. Valores de grabado y corte para cartulina. ....	64
Tabla 18. Valores de grabado y corte para cuero.....	64
Tabla 19. Valores de grabado y corte para papel.....	65
Tabla 20. Valores de grabado para piedra. ....	65
Tabla 21. Valores de grabado y corte para madera.....	66

Tabla 22. Valores de grabado y corte para cartón prensado. ....	67
Tabla 23. Valores de grabado y corte para foami. ....	68
Tabla 24. Valores de grabado para acero inoxidable. ....	69
Tabla 25. Valores de grabado y corte para tela. ....	69
Tabla 26. Valores de grabado y corte para cartulina. ....	70
Tabla 27. Valores de grabado y corte para cuero. ....	71
Tabla 28. Valores de grabado y corte para papel. ....	71
Tabla 29. Valores de grabado para piedra. ....	72
Tabla 30. Valores de grabado y corte ....	73
Tabla 31. Valores de mecanizado para madera ....	74
Tabla 32. Valores de mecanizado para baquelita. ....	75
Tabla 33. Valores de mecanizado para acrílico ....	76
Tabla 34. Valores de mecanizado para aluminio ....	77
Tabla 35. Valores de mecanizado para madera ....	77
Tabla 36. Valores de mecanizado para acrílico ....	78
Tabla 37. Valores de mecanizado para acrílico ....	78
Tabla 38. Valores de mecanizado para aluminio ....	78
Tabla 39. Valores de mecanizado ....	79
Tabla 40. Costos del proyecto. ....	79

## CAPÍTULO I

### Planteamiento del problema

En la carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte en su línea de investigación de mecánica y biomecánica se ha planteado adaptar un sistema multifunción de mecanizado y grabado a láser, para el desarrollo de prototipado rápido, aprovechando el control numérico.

Es por ello, que se propone implementar el desarrollo de un sistema de desbaste mediante láser y fresadora el cual será un cabezal que se acoplará al sistema de generación de movimiento de la impresora 3D.

### Objetivos

#### Objetivo General

- Implementar un sistema multifunción de prototipado rápido mediante la incorporación de un sistema CNC para desbaste por fresado y grabado por láser a una impresora 3D multi-extrusor.

#### Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema multifunción para el uso de cabezales de extrusión, láser y fresa.
- Adaptar el sistema multifunción de láser y fresa en una impresora 3D multi-extrusor (MILLAPRINT).
- Adecuar el HMI a la interfaz del sistema ya establecido para el funcionamiento de fresa y láser
- Realizar las pruebas de funcionamiento y validar el dispositivo.

## **Antecedentes**

En el país se puede encontrar impresoras 3D que cuentan con sistemas convencionales de impresión de hasta dos extrusores, si se desea fresar o cortar por medio de un láser, son máquinas que se las adquieren por separado teniendo un costo elevado cada una. Por lo tanto, para la realización del tema propuesto se ha tomado como guía los siguientes trabajos.

-3D MILLAPRINT, es la máquina que realiza la adaptación de procesos de mecanizado y corte o grabado por láser.

-Portilla Flores, R. (2018). *Sistema de generación de movimiento para una impresora 3D multiextrusor*. Ibarra. Recuperado el 18 de Enero de 2018

-Méndez, J. (2018). *Sistema de movimiento giratorio y selección de cuatro extrusores para una impresora 3D*. Ibarra. Recuperado el 23 de Mayo de 2018

-ZMORPH. (2016). Recuperado el 19 de Marzo de 2018, de <https://www.trdimension.com/zmorph>

## **Justificación**

Un cabezal de desbaste por fresa y grabado por láser para una impresora 3D multi-extrusor permite que cada laboratorio de la carrera tenga la posibilidad de realizar prototipado rápido con mayor facilidad para aplicaciones biomecánicas o mecánicas.

Los principales beneficiarios de este proyecto son las personas que necesiten un dispositivo mecánico, que es a bajo costo y a medida, como también docentes investigadores y estudiantes de

la carrera de Mecatrónica ya que contarán con una máquina de laboratorio que permita el desarrollo de futuras investigaciones relacionadas con la biomecánica.

La impresora 3D multi-extrusor cuenta con un sistema de tornillo de bolas en sus tres ejes la cual permite una mejor resolución de impresión y un mayor aumento en la fuerza lineal a partir de sus motores de mayor torque lo que permitirá el fresado, además de la precisión que requiere un grabado en laser

### **Alcance**

Se plantea implementar un sistema multifunción de desbaste por láser y fresado para una impresora 3D multi-extrusor adaptable para aplicaciones mecánicas o biomecánicas, principalmente para la fabricación de prótesis u otros mecanismos que se requiere desbastar elementos mecánicos, además, de placas electrónicas, con lo que se tendrá una reducción en su costo del 40% y permitirá optimizar tiempo y los beneficios de una máquina de control numérico en múltiples actividades.

En el desbaste por fresa se ha considerado los materiales: pvc, nylon, aluminio siendo el más duro a mecanizar.

En grabado o tallado por láser se hace para materiales como acero inoxidable, hierro, aluminio, cerámica, piedra, bambú, cuero y plásticos.

Para corte con láser se lo hará en papel, madera, acrílico con un espesor de hasta 6mm.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Control numérico**

Al control decimal se lo conoce como control numérico (CN) es un sistema que mediante comandos programados se puede operar la máquina en un medio de almacenamiento que la hace totalmente automática, en comparación de las máquinas manuales que se manejan con volantes, palancas y otros arreglos.

Las primeras máquinas industriales y casi automáticas de control numérico fueron fabricadas en los años 40 y 50, las que utilizaban tecnologías de motores dosificadores cuya relación manual se hacía siguiendo instrucciones dadas en un microscopio de tarjetas (CNC) (Lasheras, 1996).

#### **2.2. Control Numérico por Computador (CNC)**

Control numérico por computador o en sus siglas CNC es todo dispositivo que mediante un lenguaje de programación se encarga de programar trayectorias elaboradas y predeterminadas que son ejecutadas mediante ordenadores o computadoras las cuales constan con la capacidad de dirigir las distintas herramientas a diferentes planos de un dispositivo mecánico (Marin, 2012).

En la actualidad la automatización total de las máquinas CNC se las puede conectar a un ordenador central en el cual se puede almacenar la información y además de otras funciones como son la de ejecución, comunicación, con la finalidad de que el proceso sea totalmente automático y no tenga la intervención humana en los proceso que de producción industrial, dando como resultado el incremento de la producción y mejorando localidad de los productos (MCNC, 2014).

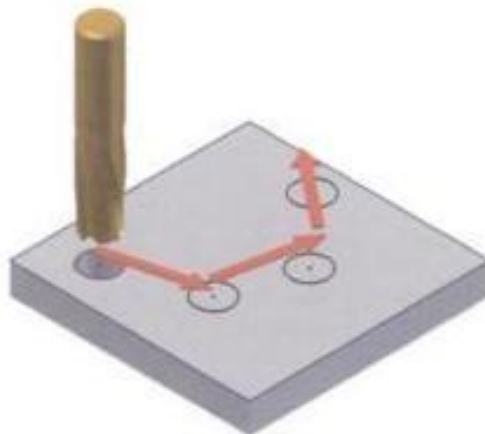
Las operaciones de maquinado que se pueden realizar en una máquina de control numérico por computador son de fresado, torneado y distintos cortes por láser, plasma o oxi-corte. Sobre las cuales se puede generar la mayoría de las piezas de industria.

### 2.3. Sistemas de control de movimiento

Para el sistema de control de movimiento existen tres tipos de movimientos para las herramientas, esto movimientos pueden ser ejecutados más de uno en el proceso.

#### 2.3.1. Control numérico punto a punto

Es el control que determina la herramienta en un punto predefinido la trayectoria que tome no es de mucha importancia, su prioridad es alcanzar con la mayor rapidez y precisión al punto deseado. El posicionamiento puede ser simultáneo, secundario o dependiendo de cómo la herramienta se desplace siguiendo la dirección correcta de los ejes. En la siguiente *figura 1* se puede observar el proceso (CARMAN, 2015).

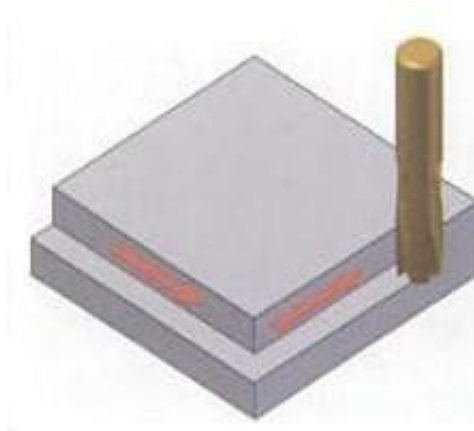


*Figura 1. Control punto a punto.*

*Fuente: (Cruz Teruel, 2004).*

### 2.3.2. Control numérico Paraxial.

Es el control que nos permite mecanizar en diferentes direcciones paralelas a los ejes de la máquina, esto gracias a que un eje se mueve linealmente mientras los otros ejes de la máquina permanecen bloqueados. Este control no permite efectuar mecanizados que necesite la intervención de dos o más ejes como por ejemplo hacer arcos o circunferencias. El control numérico paraxial puede ejecutar los movimientos de un control punto a punto. En la siguiente *figura 2* se puede observar el proceso (CARMAN, 2015).



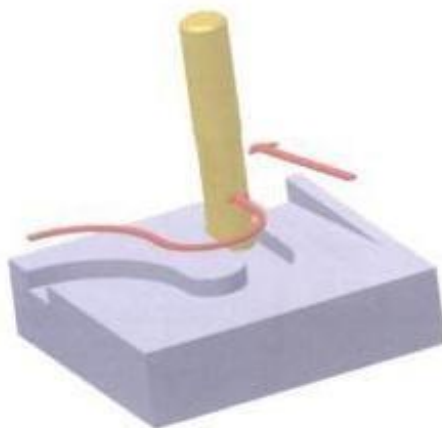
*Figura 2. Control Paraxial.*

*Fuente: (Cruz Teruel, 2004).*

### 2.3.3. Control numérico de Contorneo

El control de contorneo es la aplicación de cualquier trayectoria simultáneamente en el movimiento de los distintos ejes. Los ejes se mueven continuamente siguiendo el recorrido que debe trazar la herramienta para generar la pieza con la geometría deseada. Por ello se lo conoce con el nombre de control numérico continuo, es el más complejo de los sistemas y permite

incorporar el mecanizado paraxial y de punto a punto. En la siguiente *figura 3* se puede observar el proceso (CARMAN, 2015).



**Figura 3.** Control de Contorneo.

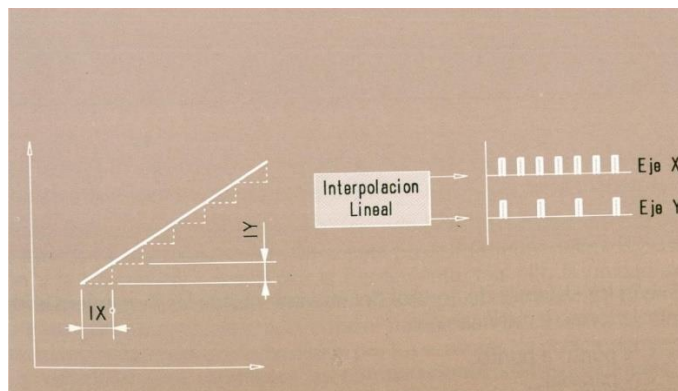
**Fuente:** (Cruz Teruel, 2004).

## 2.4. Interpolación

Para un buen proceso de mecanizado, debe existir una sincronización perfecta en los movimientos de todos los ejes para ejecutar las trayectorias deseadas. Para ello los sistemas de control incorporan procedimientos de interpolación. En los CNC convencionales los más utilizados son:

- Interpolación Lineal
- Interpolación Circular

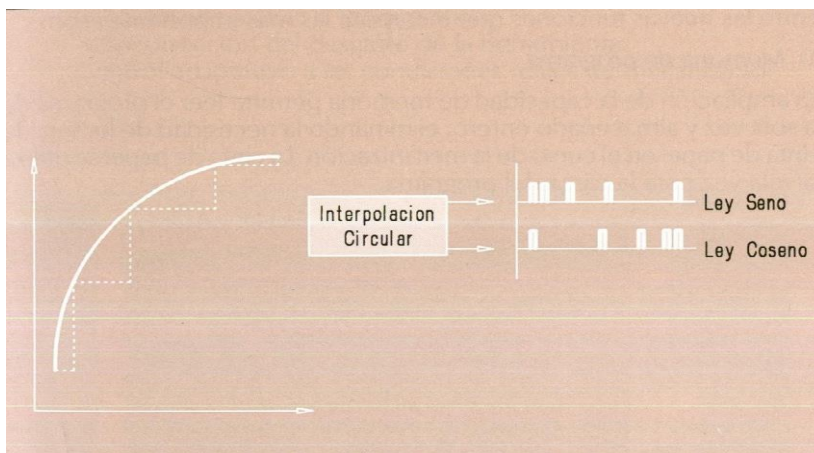
En la interpolación lineal el controlador mueve la herramienta en dirección recta entre dos puntos mediante trenes de puntos uniformemente repartidos, de forma que la relación de la frecuencia de los mismos en cada eje es la pendiente de la recta. En la siguiente *figura 4* se puede observar el proceso (CARMAN, 2015).



**Figura 4.** Interpolación Lineal.

**Fuente:** (Rafael Ferre, 1988).

En la interpolación circular, el control mueve la herramienta sobre un arco de círculo mediante impulsos cuya frecuencia sigue en cada eje la ley del seno y del coseno respectivamente. Para definir la interpolación circular debe situarse en primer lugar, el plano que contiene el arco y dar puntos de inicio y final del mismo, así como el radio. En la siguiente figura 5 se puede observar el proceso (CARMAN, 2015).



**Figura 5.** Interpolación Circular.

**Fuente:** (Rafael Ferre, 1988).

Otros controladores incorporan también la interpolación parabólica y cúbica.

Existen programas CAD/CAM que hacen la interpolación lineal, circular, parabólica y cúbica internamente como en el caso de Solidworks de tal manera que hacen un control paraxial con interpolación y entregan pequeñas rectas que van generando la figura deseada.

## **2.5. El proceso de fresado.**

El fresado se lo puede realizar manual o automático, la máquina está compuesta básicamente por tres ejes principales cuya finalidad es la de proporcionar movimientos sincrónicos y precisos, además de esto puede estar provista de distintas herramientas que se encargan de desbastar mediante un mecanizado.

- La herramienta de corte o grabado se monta en el husillo y gira a distintas velocidades, en función de las especificaciones de la herramienta y del material.
- La pieza se fija a una mesa conocida como carro transversal.
- El carro transversal mueve la pieza de trabajo y la pone en contacto con la herramienta de corte. La herramienta elimina material de la pieza de trabajo en los puntos de contacto, creando piezas terminadas.

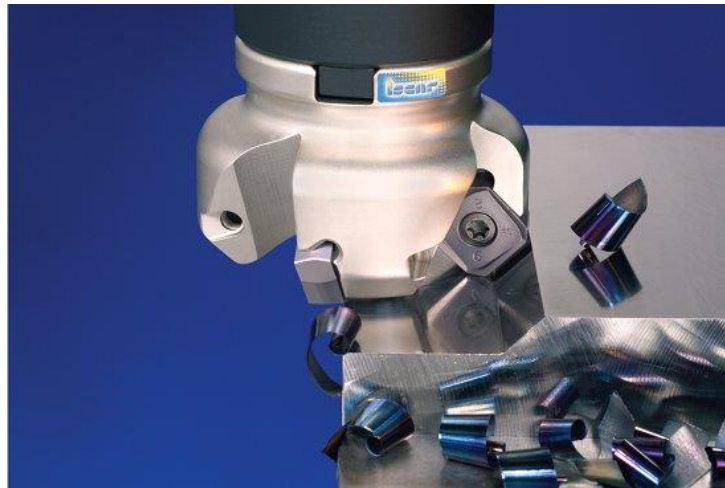
Al principio las máquinas eran rudimentarias y muy poco precisas, en general todos los movimientos se los realizaban manualmente. Con el desarrollo de nuevas tecnologías, las fresadoras más modernas son controladas por computadora.

## **2.6. Operaciones relacionadas con el fresado.**

### **2.6.1. Planeado**

El planeado es una de las operaciones más utilizadas para dar una superficie firme, libre de desniveles para los distintos procesos, ésta consiste en un corte plano a través de toda la superficie

del material. Elimina una capa de material, obteniendo una superficie plana y lisa. Se realiza normalmente este proceso, para determinar o demarcar en el material una superficie de referencia, desde la cual se puede mecanizar o crear un acabado de superficie deseado a partir de la pieza en bruto. En la operación de planeado, la herramienta de corte se mantiene a una altura fija, mientras que la pieza se mueve hacia atrás y adelante en recorridos que se superponen como se muestra en la *figura 6*.



*Figura 6. Fresado por planeado.*

*Fuente: (Plaquitas para fresado: puede planear a 45°, s.f.).*

### **2.6.2. Vaciado**

La operación de vaciado se encarga de eliminar todo el material dentro de un área con límites definidos por una geometría, esta geometría es cerrada cuando su punto inicial y su punto final se conectan formando una ruta completa. Círculos, óvalos, cuadrados, rectángulos, entre otros, cuyas formas son diversas ya dependiendo del proceso que vayan a desempeñar. Una geometría es abierta cuando su punto final e inicial no está conectado. Los recorridos de la herramienta de vaciado pueden dejar unas pequeñas islas dentro del proceso de vaciado como se muestra en la *figura 7*.



*Figura 7. Fresado por vaciado.*

*Fuente: (MG Maquilas, s.f.).*

### **2.6.3. Grabado**

El proceso de grabado permite retirar pequeñas porciones de material para ruteado de letras, figuras, ente otras. Para la operación de grabado se suele seguir un patrón definidos los cuales por lo general no requieren de inserciones profundas, es más son de precisión según lo requiera el proceso.



*Figura 8. Fresad por grabado.*

*Fuente: (Calcass, 2018).*

### **2.6.4. Taladrado**

En la operación de taladrado, la broca se traslada de un punto específico de la pieza y se inserta la broca a profundidades específicas. Para conservar la broca en el código G se realiza inserciones



controladas donde se inserta una determinada profundidad. Se debe instalar el taladro apropiado para poder taladrar distintos tamaños de agujeros, además las CNC se las puede equipar con computadores automáticos de herramientas, de manera que se pueden tener varias herramientas en una CNC que pueden intercambiarse automáticamente.



*Figura 9. Taladrado.*

*Fuente: (La solución completa de ISCAR para taladrado de agujeros, 2014).*

## **2.7. Elementos de fijación**

Para comenzar el proceso de fresado, el elemento o material a trabajar debe estar correctamente sujeto a la máquina, para ello se usan una o varias de las siguientes piezas de fijación:

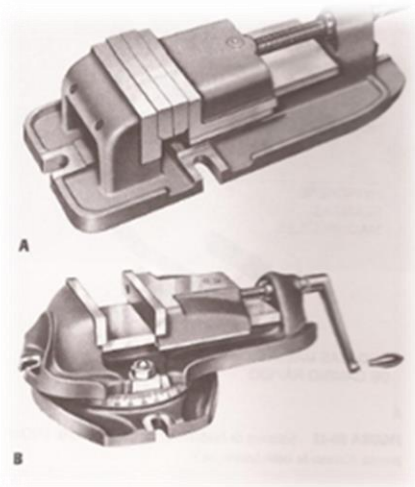
### **2.7.1. Prensa**

La prensa es un accesorio de dos mandíbulas, una fija y la otra móvil. Esta última se desliza sobre una guía por medio de un tornillo y una tuerca movida por una manija. Son dispositivos de sujeción de trabajo de más amplia utilización para el fresado. Se fabrican tres estilos:

-Prensa sencilla puede ser atornillada a la mesa, de tal manera que sus mordazas quedan paralelas o en ángulo recto con el eje del husillo.

-La prensa de base giratoria es similar pero más sencilla, excepto que tiene una base giratoria de  $360^\circ$  en un plano horizontal.

-La prensa universal puede girar  $360^\circ$  en un plano horizontal y puede inclinarse de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  en un plano vertical. Es utilizada principalmente por herramientas, matriceros y fabricantes de moldes, ya que permite la colocación de ángulos compuestos para el fresado. (ACCESORIOS DE LA MÁQUINA FRESADORA, s.f.).



**Figura 10.** (A) Prensa Sencilla (B) Prensa de Base Giratoria.

**Fuente:** (ACCESORIOS DE LA MÁQUINA FRESADORA, s.f.).

### 2.7.2. Bridas

Son piezas de acero, forjadas o mecanizadas; de forma plana, acodada y con ranura central para introducir el tornillo de fijación. En uno de sus extremos pueden tener un tornillo para regular la altura de fijación.



**Figura 11.** Juego de bridas.

**Fuente:** (RETEFER S.A.S , 2011).

### 2.7.3. Calzos

Son elementos de apoyo. Pueden ser planos, escalonados, en “V” y regulables, ideales para sujetar piezas de tipo cilíndricas.



**Figura 12.** Calzos en “V”.

**Fuente:** (Amasuín, s.f.).

### 2.7.4. Escuadras

Las caras de estos accesorios son planas y mecanizadas. Forman un ángulo de 90°. Hay escuadras de diversos tamaños y con muchos orificios para introducir los tornillos de fijación.



**Figura 13.** Escuadra angular.

**Fuente:** (fresadoras-cnc, 2018).

### 2.7.5. Fijación de la fresa a la máquina

La fijación de la fresa al husillo se hace por medio de pinzas y porta pinzas. Una pinza es un cuerpo cilíndrico hueco, con una ranura parcial a lo largo y con una parte cónica, lo que permite el cierre de la pinza sobre la fresa.



**Figura 14.** Pinzas.

**Fuente:** (bang good, 2018).

## 2.8. Láser

### 2.8.1. Dispositivo láser

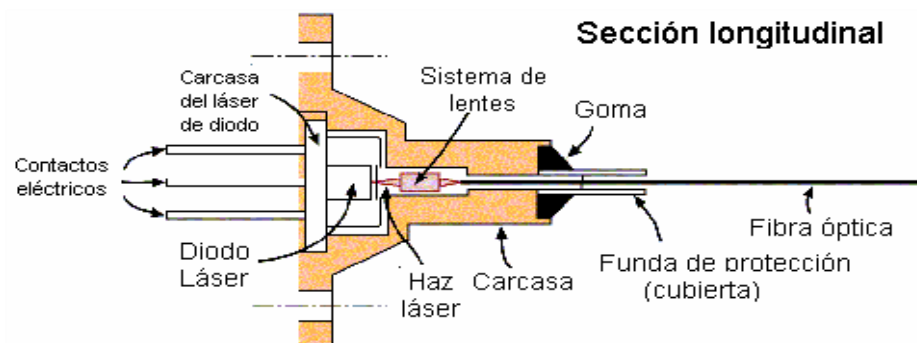
La palabra láser es un acrónimo que significa Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation (Luz amplificada por emisión estimulada de radiación). Un láser es básicamente una

fuentes de luz. Lo que diferencia a un láser de otras fuentes de luz, como las bombillas, es el mecanismo físico por el que se produce la emisión de luz, que se basa en la emisión estimulada, en contra de la emisión espontánea que es la responsable de la mayor parte de la luz que se observa. Para entender lo que es la emisión espontánea y la emisión estimulada hay que conocer un poco la física de la interacción de átomos con fotones (Clpu, 2013).

### 2.8.2. Modos de operación de láser:

Si el láser emite en modo continuo (*continuous wave, CW*), la energía de la radiación emitida se caracteriza por su potencia ( $W$ ). Si se emiten pulsos, se dice que emite en modo pulsado (*pulsed mode, P*) y se caracteriza por las propiedades del pulso: energía por pulso ( $J$ ), frecuencia de repetición ( $Hz$ ) y ancho de pulso ( $s$ ) (Gonzales, 2010).

Dentro de las diversas clasificaciones de los sistemas láser se encuentran el láser que está compuesto por materiales semiconductores (diodos). La *figura 15* muestra la estructura interna de un láser de diodo en una vista de sección longitudinal.



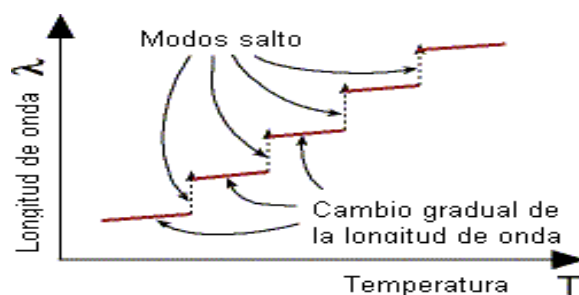
**Figura 15.** Sección longitudinal de un láser de diodo.

**Fuente:** (Arieli, 2018).

### 2.8.3. Características del láser de diodo.

Los diodos láser son únicos en comparación con otros tipos de láseres. Son pequeños, operan relativamente con bajas tensiones de entrada y son eficientes. La acción láser ocurre en la zona de unión de dos semiconductores diferentes. Uno de los materiales tiene un exceso de electrones (tipo n) y el otro material (tipo p) cuenta con un déficit de electrones o un exceso de huecos. Cuando se coloca una tensión polarizada en forma directa a través de esta unión, los electrones son forzados en la región del material tipo n y los huecos son forzados en la unión del material tipo p. Estos electrones con una carga negativa y los huecos con una carga positiva son atraídos uno al otro y cuando “colisionan” se neutralizan mutuamente y emiten la radiación láser (Sanchis & Ejea, 2008).

Para este tipo de diodo, la densidad de corriente de umbral presenta alta dependencia con la temperatura de las uniones p-n, dicha temperatura obliga a considerar la longitud de onda emitida por el dispositivo, igualmente dependiente con la temperatura a la que esté operando. Las alteraciones de esta variable provocan cambios en la longitud de onda de emisión, es decir, un aumento gradual de la longitud de onda al tener un incremento en la temperatura provoca un salto de un modo de emisión longitudinal a otro. A este efecto se le denomina “salto de modo”.



**Figura 16.** Cambio de la longitud de onda del láser de diodo con la temperatura.

*Fuente:* (Sgpwe.izt, 2018).

Los láseres de diodo poseen un alto rendimiento pues más del 20% de la energía suministrada es emitida como radiación láser. El haz de luz que emite un diodo láser es coherente en comparación con la luz emitida por un diodo LED, sin embargo, para concentrar el haz del láser en un punto es necesario emplear la óptica apropiada.

## **2.9. Sistemas láser como herramienta de trabajo.**

Los sistemas de corte y grabado por láser también se incorporan en los procesos de una máquina de control numérico, con la diferencia que existen dos tipos más conocidos de generación del haz de luz, el uno es por semiconductores y el otro es por la generación de un gas, cada uno tiene una configuración para focalizar su haz.

### **2.9.1. Óptica móvil.**

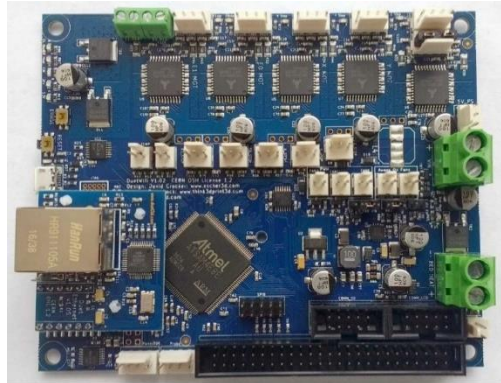
En esta configuración tenemos un generador de mayor capacidad siendo esa su mayor ventaja, para poder cortar o grabar se necesita conducir el haz de luz mediante lentes ubicados en los distintos ejes de la máquina lo cual requiere de una perfecta sincronización para poder focalizar el haz en la pieza a tratar.

## **2.10. Sistema eléctrico**

### **2.10.1. Tarjeta controladora duet 3d**

La tarjeta duet 3D es la que está revolucionando el mundo de la CNC multifunciones, es una compatible con Arduino Due de 32 bits con un voltaje de operación de 5v la cual tiene puerto que controlan periféricos de entrada y salida; motores a pasos, calentador entre otros, además, lee datos

como lo es la temperatura de las resistencias de calor, los sensores finales de carrera XYZ entre otros. (RepRap, 2015).

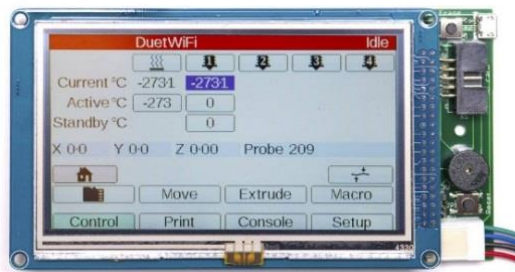


**Figura 17.** Tarjeta duet 0.8.5.

*Fuente:* (RepRap, 2015).

### 2.10.3. Panel Duet

Es un panel de control gráfico a todo color sensible al tacto para impresoras 3D. Aunque está diseñado principalmente para su uso con duet electronics, también funciona con otros componentes electrónicos de la impresora 3D que admite un verdadero puerto serie e incluyen el soporte requerido en el firmware, por ejemplo, RADDs. El soporte para Panel Due está presente en RepRap Firmware y en proceso de ser agregado a Repetier y Smoothieware. (PanelDue for 3D printers, 2015).



**Figura 18.** Panel Due Electrónica de impresión.

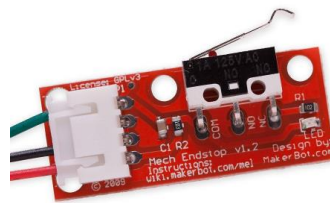
*Fuente:* (PanelDue for 3D printers, 2015).



## 2.11. Sensores

### 2.11.1. Finales de carrera

Están constituidos por un conmutador accionado por una palanca, la cual abre o cierra un contacto mecánico cuando un objeto mueve la palanca.



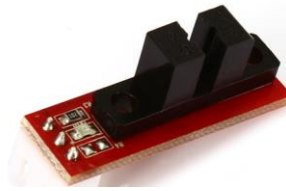
*Figura 19. Final de carrer.*

*Fuente: (GlyduinoRobot Store, 2015).*

El sensor final de carrera solo puede detectar cuando un objeto ha llegado a un límite, su posición final, sin indicar la distancia que esta.

#### 2.11.1.2. Sensores ópticos

Los sensores ópticos se basan en la detección de la luz que influye sobre ellos la cual normalmente es luz infrarroja para evitar interferencia de otras ondas de luz. Con estos sistemas la señal se la consigue cuando la luz es interrumpida, la cual dependiendo de su posición se la utiliza como un final de carrera por su eficacia (López, 2015).



**Figura 20.** Sensor ir.

*Fuente:* (Mundo 3D Printer, 2018)

Estos sensores además de detectar si un objeto se acerca se pueden obtener la distancia a la que está dicho objeto.

## 2.12. Interfaz hombre maquina (HMI)

Una interfaz de usuario es actualmente asistida por ordenador, también conocida como interfaz hombre máquina (HMI) la cual forma parte esencial de máquinas, comunicándose de forma instantánea con el ordenador y demás servicios de la máquina o conjunto de la misma. En ISO 9241-110, el término interfaz de usuario se define como “todas las partes de un sistema interactivo (software y hardware) que proporciona la información y el contenido necesario para que el usuario lleve a cabo las tareas con el sistema interactivo”, como se detalla en la *figura 22*. (Copa-data, 2018).



**Figura 21.** Panel interfaz.

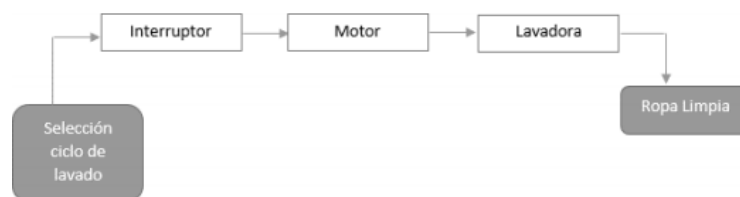
*Fuente:* (Progea, 2014).

La interfaz es el punto de acción entre un hombre y una máquina, los cuales entran en contacto ya sea de manera visual (adquisición de datos) u operativa. El caso más simple es el de un interruptor. No se trata de un humano ni de una máquina la lámpara, sino una interfaz entre los dos. Para que un HMI sea útil y significativa para los operadores, debe estar adaptada a sus requisitos y capacidades (Copa-data, 2018).

## 2.13. Sistemas de control

### 2.13.1. Sistemas de lazo abierto

Un sistema de lazo abierto es aquel en donde las salidas son medidas, pero no retroalimentadas para su posterior comparación con la entrada. Ningún sistema de lazo abierto es retro alimentado, esto quiere decir que la señal no es tratada, la señal que ingresa es la misma que sale, en la práctica son sistemas baratos muy fiables para casos simples como es el de encender un foco, a este sistema se le puede poner otro tipo de control. Otro ejemplo es el de encender un motor de una lavadora con un interruptor. Ver *figura 23* (Ogata, 2010).



**Figura 22.** Sistema lazo abierto.

*Fuente:* (Ogata, 2010).

## 2.14. Software de código abierto

Es el software cuyo código es abierto y otros derechos, es un código de desarrollo libre que normalmente son abiertos para poder ser editados según lo requiera el usuario, además de esto

pueden ser compartidos sin ningún costo aunque algunos programadores suelen pedir colaboraciones para poder continuar mejorando el software. El uso del código abierto nació en el año de 1998 de la mano de usuarios de la comunidad de software libre. El código abierto tiene una serie de requisitos necesarios para un programador tales como, libre distribución, código fuente, trabajos derivados, integridad del código fuente del autor, distribución de licencias, entre otros (Open Source , 2012).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

En este capítulo se describe de forma específica cada uno de los subsistemas que componen el prototipo de mecanizado y grabado láser, es decir, un diseño a detalle conformado por la parte mecánica, el entorno gráfico con el usuario, la etapa para la selección de función. Cabe señalar que para desarrollar este proyecto se realizó un análisis y estudio conceptual.

#### 3.1. Pasos para el diseño.

Los pasos que se seguirán en el desarrollo de este capítulo se enumeran a continuación:

- Requisitos funcionales.
- Requisitos de diseño.
- Selección de alternativas.
- Diseño mecánico.
- Configuración de parámetros en el firmware.
- Pruebas de funcionamiento.

#### 3.2. Requisitos funcionales

Este proyecto tiene como objetivo implementar un sistema multifuncional de maquinado y grabado por láser en una impresora 3D (MILLAPRINT) cuyas características se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 1.**  
*Especificaciones de la impresora 3D MILLAPRINT*

<b>DIMENSIONES FÍSICAS</b>	
<b>Peso neto</b>	80 Kg
<b>Dimensiones sin el módulo Y</b>	876*660*1130
<b>Dimensiones con el módulo y</b>	876*855*1130
<b>Estructura</b>	Acero inoxidable, Aluminio
<b>REQUISITOS DE POTENCIA</b>	
<b>Entrada</b>	110V
<b>Salida</b>	24, 12, 5v DC
<b>CONDICIONES DE AMBIENTE</b>	
<b>Temperatura ambiente de funcionamiento</b>	15° a 40° C
<b>SOFTWARE</b>	
<b>Preparación para impresión</b>	Repetier-Host
<b>Software</b>	Open source
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA FUNCIÓN DE IMPRESIÓN</b>	
<b>Tecnología de impresión</b>	Modelado por deposición Fundida (FDM)
<b>Cabezal de impresión</b>	Boquilla intercambiable
<b>Volúmen de impresión</b>	380*380*380 mm
<b>Diámetro de filamento</b>	1.75
<b>Resolución X, Y, Z</b>	0.012 mm
<b>Velocidad de desplazamiento</b>	1 a 40 mm/sec
<b>Velocidad de extrusión</b>	50 mm/sec
<b>Temperatura de la boquilla</b>	180° a 270° C
<b>Temperatura de la plataforma caliente</b>	50° a 100°
<b>Ruido operativo medio</b>	-
<b>Transferencia de fichero</b>	Desde tarjeta SD
<b>Nivelación de plataforma</b>	Manual

*Nota. Fuente:* (MANUAL DE USUARIO 3D MILLAPRINT, 2018).

**Funciones que debe realizar el sistema multifunción:**

- Controlar los desplazamientos de la mesa, los carros transversales y longitudinales y/o el husillo a lo largo de sus respectivos ejes mediante datos numéricos.
- Permitir el posicionamiento manual del punto cero de máquina.
- Leer memorias externas Micro SD (sin restricción).
- Selección de función de la máquina mediante la adaptación de una HMI
- Corte, desbaste, ruteo, entre otros.
- Corte por láser.

### 3.3. Requisitos de diseño.

Se establecen los parámetros tomando como base a las especificaciones establecidas.

**Tabla 2.**  
*Parámetros de diseño*

<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	
Material con mayor dureza a grabar	Acero inoxidable
Material con mayor dureza a cortar	Madera de 6mm
Material con mayor dureza a fresar	Aluminio 6061 TS
Diámetro mayor de la fresa	7mm
Motor de la herramienta	Auto refrigerado por aire
Tipo de software	El software para controlar la impresión 3D será código abierto.
Temperatura de trabajo	Componentes mecánicos y electrónicos adecuados para trabajar con un rango de 90 a 130 °C.
Otras características	Lector de memorias micro SD, interfaz gráfica HMI, paro de emergencia, indicadores visuales.

*Nota.* En la tabla se detallan los parámetros.

### 3.4. Selección de alternativas.

Para la selección de los diferentes componentes tanto mecánicos como electrónicos, se optó por realizar una calificación mediante criterios de ponderación, donde cada calificación recibe un valor numérico con su respectiva interpretación. En el siguiente cuadro se especifica la forma de calificación junto con su ponderación e interpretación (Pérez, s.f.).

**Tabla 3.**  
*Criterios de ponderación para la selección de alternativas.*

<b>Significado</b>	<b>Calificación</b>	<b>Ponderación</b>
Insatisfactorio	0	<35%
Satisfecho	1	36%-50%
Bueno	2	51%-75%
Muy bueno	3	76%-89%
Óptimo	4	90%-100%

**Nota.** En la tabla se da un valor numérico.

### **3.5. Adaptabilidad al sistema 3D millaprint**

#### **3.5.1. Selección de motor herramienta**

Para la selección del motor herramienta se toma como referencia el material más duro a fresar (aluminio), en base a esta información se considera los siguientes requerimientos de potencia del sistema a implementar, por lo tanto, solo se considerará motores de corriente continua, es decir motores DC y motores trifásicos. La tabla 4 muestra los criterios para selección del motor con su respectiva ponderación:

**Tabla 4.**  
*Criterios de ponderación para la selección de alternativas.*

<b>Criterio</b>	<b>Servomotor DC</b>	<b>Motor trifásico</b>
Disponibilidad	2	4
Costo	2	4
Velocidad	4	3
Torque	3	5
Potencia	4	3



Precisión	4	4
SUMA	19	22

*Nota.* La opción más adecuada es el motor trifásico.

Se concluye que el motor trifásico es el más adecuado, por lo tanto se seleccionará los motores trifásicos del tipo motor trifásico spindle ya que éstos poseen las siguientes características:

- Refrigerado por aire
- Tamaño: 36 \* 16 \* 15 cm
- Material: Acero inoxidable
- Voltaje: 110V
- Frecuencia: 0-400Hz
- Velocidad: 0-24000rpm
- Precisión: 0.003-0.005

### 3.6. Diseño y cálculos de los elementos mecánicos de la máquina CNC.

Para realizar el diseño de los elementos mecánicos se toma como referencia los procesos que va a ejecutar la máquina, tanto como el fresado de PCBs, madera, acrílico, entre otros. Los cuales pueden ser mecanizados de una manera óptima, las cuales pueden tener dimensiones considerablemente medianas, por lo cual se propone lo siguiente.

**Velocidad de giro del husillo (N).** Los cálculos de velocidad en revoluciones por minuto varían de acuerdo a la velocidad de corte, la cual se expresa en unidades de medida procedentes de los sistemas internacionales o inglés, la fórmula es simplificada y precisa que permite calcular las revoluciones por minuto.

Para calcular las RPM de la fresa, ver ecuación (1) (Casillas, 2008).

$$N = \frac{v * 1000}{\pi * d} \quad (1)$$

Donde:

N=revoluciones por minuto

v=velocidad de corte (m/min)

d=diámetro de la fresa (mm/min)

**Velocidad de avance(s`)**. Es la velocidad a la que la fresa debe recorrer en el material además se considera la profundidad de corte y la calidad superficial. Es la que representa el desplazamiento de la herramienta respecto a la pieza, ver formula (2) (Casillas, 2008).

$$s' = H * Z * N; \frac{mm}{min} \quad (2)$$

Donde:

N= RPM

Z= Número de dientes de la fresa

H=avance por diente

**Volumen de viruta arrancado o cantidad máxima posible (V)**. En el fresado el volumen de viruta arrancado se expresa en cm<sup>3</sup>/kW, se obtiene de la ecuación (3) (Gerling, 1992).

$$V = \frac{a * b * s'}{1000} ; \frac{cm3}{min} \quad (3)$$

Donde:

a = profundidad de fresa

b= ancho de la fresa

s' = velocidad de avance de la fresa

**Potencia de la motor herramienta (P).** Es la cantidad de energía requerida para realizar un determinado peso, su unidad es el Kw y se obtiene despejando de la siguiente fórmula (4) (Gerling, 1992).

$$V = V' * P \quad (4)$$

Donde:

P=potencia de la herramienta en kW

V=cantidad máxima de viruta posible en cm<sup>3</sup>/min

V'=cantidad admisible en cm<sup>3</sup>/kW min (tabla de viruta admisible)

### 3.6.1. Memoria de cálculo:

Como punto de partida se consideró el material más duro a fresar, el aluminio 2024 (Ver Anexo 1), teniendo en cuenta que la fresa más ancha va ser de 7mm con 4 dietes.

#### 1.-Cálculo del número de revoluciones (RPM).

Como todas las máquinas –herramientas, en las fresas es necesario calcular el número de revoluciones a las que deben operar.

Datos:

v= Se obtiene de la *tabla 5*

d= Requisito de diseño (ver *tabla 2*)

$$N = \frac{200 * 1000}{\pi * 7} \text{ ref. (1)}$$

$$N = 9094.5681 \text{ RPM}$$

$$N \approx 10000 \text{ RPM}$$

**Tabla 5.**

*Velocidad de corte en m/min*

Materiales	Velocidad m/min	Velocidad Ad m/diente	Observaciones
ALUMINIO	200/400	0,03/0,10	Petróleo o RGV -Copos suaves, adherentes
ALEAC. ALUMINIO	200/400	0,03/0,10	Emulsión de Aceite de Corte Copos más secos
LATONES	150/300	0,02/0,10	Emulsión de Aceite de Corte
BRONCES-ZINC	100/150	0,002/0,10	Emulsión de Aceite de Corte
PLASTICOS (Baquelita)	50/100	0,04/0,20	Aire
TERMOPLÁSTICOS (Acetato) (Plexi) (Pvc) (Nylon)	100/50	0,04/0,20	Aire Agua Vaporizada
ACERO-INOX	90	0,002/0,02	Emulsion de Aceite de Corte
MADERA	60/100	0,02/0,12	Aire

Siempre es mejor tener un chorro de aire bien dirigido (acción mecánica muy importante) antes que un chorro únicamente de limpieza.

*Nota. Dato velocidad. Fuente:* (Catalogo VinilShop, 2016).

## 2.- Velocidad de avance(s`)

Datos:

H= Avance por diente ver tabla 5

Z = 2

N= 10000

$$s' = 0.1 * 2 * 10000 \text{ ref. (2)}$$

$$s' = 2000 \frac{mm}{min}$$

**Tabla 6.**  
*Tabla de avance por diente*

MATERIAL A TRABAJAR	FRESAS NORMALES			Fresado con coronas de cuchillas		
	Marca widia	V = metros minuto	H = avance por diente	Marca widia	V = metros minuto	H = avance por diente
Acero hasta 75 Kg/mm <sup>2</sup>	s 1	100-120	0,02-0,0	s 1	150-250	0,02-0,05
	s 3	40-50	0,05-0,5	s 3	40-60	0,05-0,15
Acero 75-110 Kg/mm <sup>2</sup>	s 1	80-100	0,02-0,03	s 1	120-150	0,02-0,05
	s 3	25-35	0,05-0,1	s 3	40-50	0,05-0,15
Acero 110-125 Kg/mm <sup>2</sup>	s 1	60-80	0,02-0,03	s 1	80-120	0,02-0,05
	s 3	20-30	0,02-0,05	s 3	30-35	0,02-0,08
Acero de más 125 Kg/mm <sup>2</sup>	s 1	30-50	0,01-0,03	s 1	50-70	0,02-0,03
	s 3	15-20	0,02-0,05	s 3	20-25	0,02-0,05
Acero fundido hasta 50 Kg/mm <sup>2</sup>	s 1	100-120	0,02-0,05	s 1	150-250	0,02-0,05
	s 3	40-50	0,05-0,1	s 3	40-60	0,02-0,15
Acero fundido más de 70 Kg/mm <sup>2</sup>	s 1	80-100	0,02-0,03	s 1	120-150	0,02-0,05
	s 3	25-35	0,05-0,1	s 3	40-50	0,05-0,15
Fundición Gris hasta 200 Kg/mm <sup>2</sup>	G 1	50-60	0,1-0,15	G 1	120-180	0,1-0,2
Fundición Gris más de 200 Kg/mm <sup>2</sup>	H 1	30-40	0,05-0,1	H 1	35-45	0,05-0,1
Fundición roja, bronce, latón	G1	80-100	0,05-0,1	G1	100-250	0,1-0,15
Metales ligeros	G1	100-800	0,1-0,15	G1	800-1.500	0,1-0,25
Aleaciones de Aluminio	G1	50-70	0,05-0,15	G1	200-500	0,1-0,2
Materiales plásticos	G1	80-100	0,05-0,1	G1	100-200	0,1-0,2

*Nota.* Dato avance por diente.

*Fuente:* (Casillas, 2008).

### 3.- Volumen de viruta arrancado o cantidad máxima posible (V).

Datos:

a= 3mm

b=7mm

s'=2000mm/min

$$V = \frac{7 * 3 * 2000}{1000} \text{ ref. (3)}$$

$$V = 42 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

#### 4.- Potencia del motor herramienta en kilovatios (P).

Datos:

V' = volumen de viruta ver *tabla 7* (C)

V = 42 cm<sup>3</sup>/min

$$P = \frac{42}{50} \text{ ref. (4)}$$

$$P = 0.84 \text{ kw}$$

$$P \approx 0.9 \text{ kw}$$

#### **Tabla 7.**

*Datos de volumen de viruta*

**C = Volumen de viruta en cm<sup>3</sup> que puede cortar la fresa por KW minuto.**

MATERIAL A FRESAR	C = Volumen cortado en cm <sup>3</sup> /KW minuto
Acero de 40-60 kg/mm <sup>4</sup> . . . . .	14
Acero de 60-85 kg/mm <sup>4</sup> . . . . .	12
Acero de 85-110 kg/mm <sup>4</sup> . . . . .	10
Acero de 110-180 kg/mm <sup>4</sup> . . . . .	8
Fundición blanda 180 brinell . . . . .	25
Fundición semidura 200 brinell . . . . .	20
Latón . . . . .	40
Bronce corriente . . . . .	30
Bronce fosforoso. . . . .	20
Aluminio . . . . .	65
Aleaciones de Aluminio . . . . .	50

*Nota.* Dato de volumen de viruta del aluminio. **Fuente:** (Casillas, 2008).

### 3.6.2. Otros parámetros de selección.

Además, de los cálculos se tiene otros parámetros ha tener en cuenta a la hora de elegir el motor herramienta adecuado para la CNC multifunción. A continuación, se presenta los parámetros más importantes a tener en cuenta y que pueden ser los que determine la consecuencia del objetivo planteado.

**Enfriamiento:** enfriado por aire

**Velocidad:** 0-24000rpm

**Precisión:** 0.04

**Aplicación principal:** grabado y desbaste de madera, bambú, PCB normal, PVC, entre otros. Así como también metal suave, como por ejemplo el aluminio 2024 siendo el más duro a mecanizar.

El motor herramienta que cumple con los requerimientos y en base a la potencia calculada de 0.9kw, es “HIGH SPEED ELECTRO SPLINDLES” ver Anexo 2.



*Figura 23. Motor Herramienta.*

*Fuente: (Amazon, 2017).*

### 3.6.4. Cálculo de fuerzas

Los módulos están diseñados para soportar 15 kilos en cada eje Z, tiene un torque de 0.642Nm para soportar una carga de 273 N (27.82 kilos) en el eje Y (Portilla Flores, 2018).

#### **Peso total del conjunto multi-herramienta:**

Peso del motor herramienta =4 kilos

Peso del plato =3.25

Peso del láser = 0.5

Peso total = 7.75kilos

Peso total = 78,45N

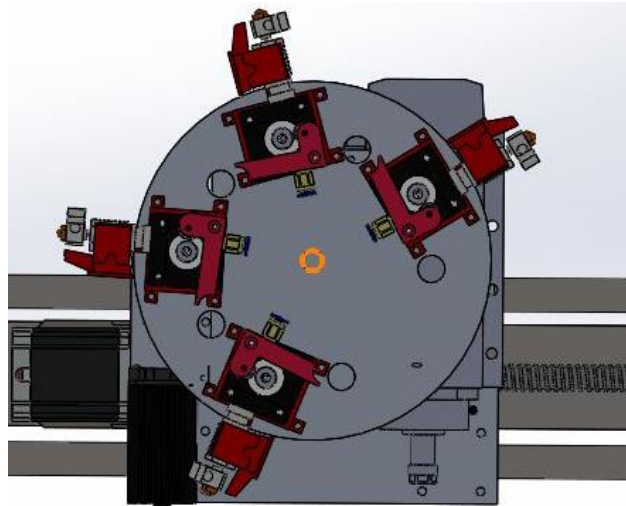
### 3.7. Distribución de los cabezales láser y fresa.

Según el requerimiento de diseño de un sistema multifunción, se rediseñó en la placa base del eje y donde irán ubicados los cabezales de mecanizado, cortador láser y el plato giratorio de extrusores como se puede ver en la *figura 24*, tomando en cuenta:

- El área total de la placa base para no influir en los distintos procesos.
- Distancia de seguridad para el cableado eléctrico y electrónico.
- Las distintas herramientas deben tener una separación de seguridad y maniobrabilidad

Las dimensiones de la placa base se especifican en correspondiente plano Anexo 10.





*Figura 24. Distribución de las herramientas*

### **3.8. Selección del material de la placa de soporte del láser, motor herramienta fresa, sistema giratorio de impresión.**

El material con el que debe ser fabricado la placa de soporte debe ser resistente, no corrosivo y liviano, por lo tanto, se selecciona el aluminio 6061 TS, ver Anexo 1.

### **3.9. Diseño de la mesa de trabajo**

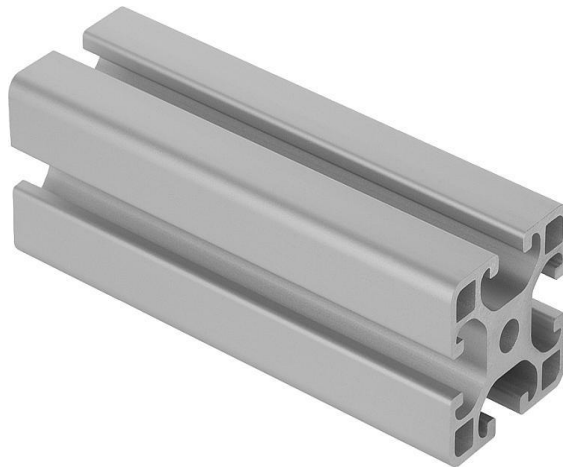
#### *Selección del material de la mesa*

Una mesa de trabajo permite al usuario colocar la materia prima y fijarla en un punto deseado, reduciendo así perturbaciones como vibraciones o movimientos innecesarios que puedan alterar el proceso de mecanizado y corte por láser sobre el material a manufacturar. El láser, empleado como herramienta, no está en contacto directo con el material tal como lo hace el sistema de mecanizado al estar en contacto con la fresa se requiere de elementos de fijación.

La mesa de trabajo diseñada permite que la pieza se encuentre en una superficie plana con la opción de ser o no sujetado a la misma; ésta se construyó con perfiles tipo *x* de aluminio

(30x30mm) debido a que es un material que no sufre cambios físicos al ser incidido por la herramienta de mecanizado, además es una buena base para sostener el vidrio templado que es la base de donde se realiza los procesos de impresión 3D.

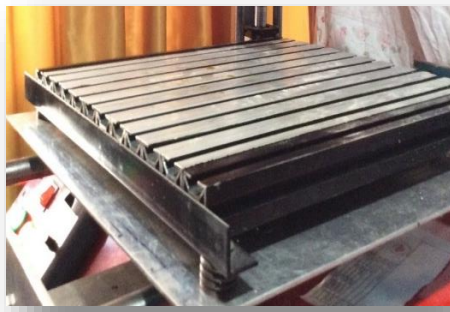
La mesa está compuesta con perfiles tipo *x* aluminio estructural, los mismos que cuentan con una ranura que permite implementar tornillos sujetadores especiales para este tipo de perfil, los cuales desarrollaron la función de bridas para la sujeción de piezas, ver *figura 25*.



**Figura 25.** Perfiles de aluminio 40x40.

**Fuente:** (Norelem, 2018).

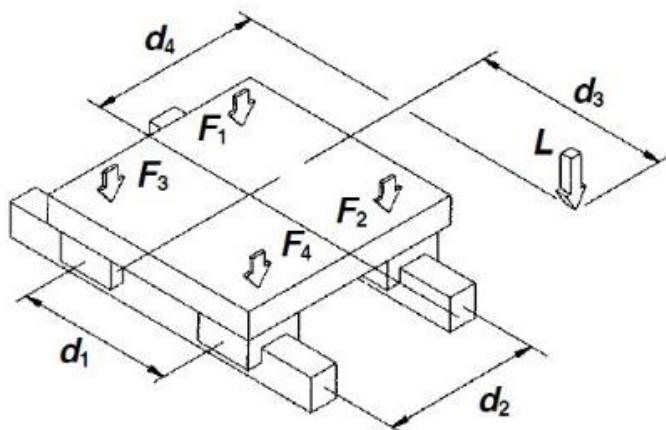
El diseño completo de la mesa de trabajo se muestra en la *figura 28*. El perfil tipo *x* de aluminio fue colocado en forma de barras juntas unas de otras dando una superficie plana con una área de 40x39mm para poder utilizar elementos de fijación en toda el área de trabajo de la mesa, esto implica que el material a trabajar siempre tendrá elementos de sujeción según requiere la operación a realizar.



*Figura 26. Mesa de trabajo*

### 3.9.1. Selección de resorte para la nivelación de la cama

Para la selección de los resortes de nivelación de la mesa se procedió a calcular la fuerza ejercida en una esquina, ya que en estos puntos serán los más críticos donde va a existir fuerzas máximas dando una referencia del resorte a colocar.



*Figura 27. Traslación horizontal con carga normal.*

*Fuente: (Techno., 2008).*

Para calcular las  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  Y  $F_4$  de cada resorte, ver ecuación de la (5) a (8) (Techno., 2008).

$$F1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \cdot \left( \frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right) \quad (5)$$

$$F2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \cdot \left( \frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right) \quad (6)$$

$$F3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \cdot \left( \frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right) \quad (7)$$

$$F4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \cdot \left( \frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right) \quad (8)$$

Para el cálculo de las fuerzas se considera el punto más crítico donde va a existir la mayor concentración de fuerza.

Datos:

L = 78,45N peso del conjunto

d1 = 385mm

d2 = 385mm

d3 = 122.5mm

d4 = 122.5mm

Obteniendo las siguientes fuerzas:

$$F1 = -5.349N \text{ ref. (5)}$$

$$F2 = 19.613N \text{ ref. (6)}$$

$$F3 = 19.613N \text{ ref. (7)}$$

$$F4 = 44.574N \text{ ref. (8)}$$

Para la selección del resorte se considera la fuerza más alta.

F4= 52.517N a kilos 4.54 kilos a libras 10 Lbs.

Se seleccionó el resorte número LC 059J 04 que se muestra en la *tabla 8*.

**Tabla 8.**  
*Datos de resorte.*

NÚMERO DE PARTE LEE	DIÁMETRO EXTERIOR		DIÁMETRO DEL AGUJERO		DIÁMETRO DEL ALAMBRE		CARGA APROX. @ ALTURA SÓLIDA		LONGITUD SIN CARGA		CONSTANTE		ALTURA SÓLIDA		GRUPO DE PRECIO		
	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	LBS.	KG	PULG.	MM	LBS/PULG.	KG/MM	PULG.	MM	Alambre de Plano	Inoxidable 302	Inoxidable 316
LC 059J 01									0.750	19.05	32.90	0.588	0.238	6.04	J	L	P
LC 059J 02									0.875	22.23	27.30	0.488	0.262	6.65	J	L	P
LC 059J 03									1.000	25.40	23.50	0.420	0.284	7.22	J	L	P
LC 059J 04									1.250	31.75	18.30	0.327	0.331	8.40	J	L	P
LC 059J 05	.720	18.29	.750	19.05	.059	1.50	17.000	7.710	1.500	38.10	15.00	0.268	0.377	9.56	J	L	P
LC 059J 06									1.750	44.45	12.70	0.227	0.423	10.74	K	M	R
LC 059J 07									2.000	50.80	11.00	0.196	0.469	11.92	K	M	R
LC 059J 08									2.250	57.15	9.70	0.173	0.516	13.10	K	M	R
LC 059J 09									2.500	63.50	8.70	0.155	0.561	14.25	K	M	R

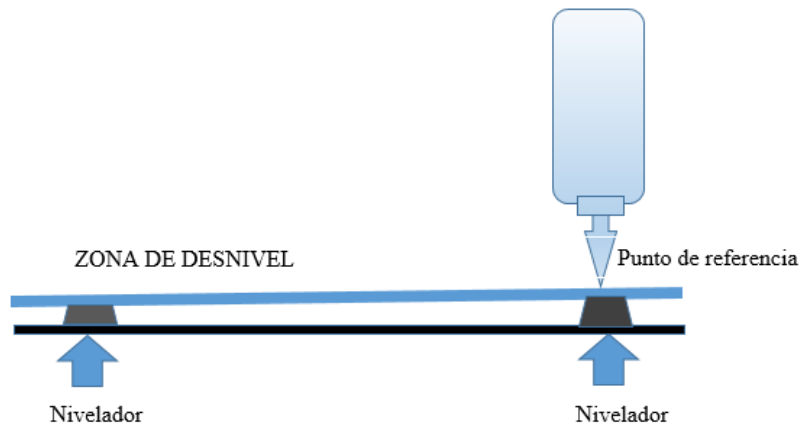
**Nota.** Anexo 5

### 3.9.2. Nivelación y corrección de alturas en la mesa de trabajo.

En los distintos procesos de la máquina multifunción las herramientas se mueven paralelamente con respecto al eje X. Utilizando las coordenadas cartesianas de la máquina, esto es equivalente a que la herramienta se desplace sobre la superficie de un plano, donde Z corresponde a la coordenada de altura de la herramienta con respecto al eje X.

La distancia entre la superficie de la mesa y el plano de fresado es generalmente muy pequeña con valores de decenas de milímetros. Esto hace que, al fijar las placas a la máquina se genere pequeños desniveles en la superficie con respecto a la altura uniforme de trabajo, tal como se muestra en la *figura 28*.

Estos desniveles provocan que la superficie de la placa no sea paralela a los planos formados por el desplazamiento de las herramientas. En otras palabras, la base puede presentar una superficie irregular, no representa precisamente una única profundidad en los distintos procesos.



**Figura 28.** Nivelación de la mesa.

Esto provoca que ciertas regiones sobre la placa no sean alcanzadas por las herramientas cuando esta baja, y por lo tanto los distintos procesos tendrán irregularidades en su acabado.

También puede darse el caso contrario, en donde la profundidad excede la hondura necesaria. Esto es claramente un problema, ya que requiere ajustar manualmente el código G sobre ciertas trayectorias para asegurarse que las herramientas estén en la profundidad adecuada.

Para ello se utilizó muelles que nivelen la cama de manera manual, la cual puede ser nivelada en cuatro puntos, esto es gracias a que cada muelle tiene tornillos independientes que pueden nivelar las esquinas ya sea apretando el tornillo o aflojando, según la nivelación requiera.

Para la nivelación se debe realizar en cuatro puntos esquineros donde se ubican los muelles; una correcta nivelación se la puede hacer con 8 puntos indistintos de la mesa de trabajo, tal como se muestra en la *figura 29*.

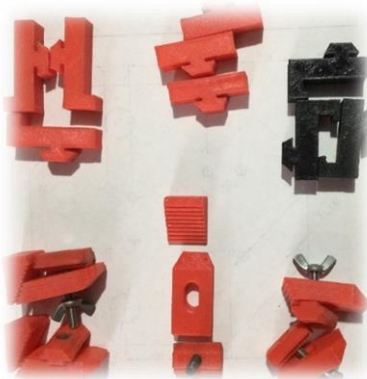


*Figura 29. Mesa de trabajo.*

### **3.9.3. Selección del tipo de sujeción**

#### *Sujetadores*

La mesa de trabajo se puede adaptar a cualquier sistema de sujeción, debido a que tiene perfiles con guías en las cuales se pueden poner distintos tornillos. Pero se aconseja sujetar el material a tratar con bridas ya sean estas de metal o de plásticos tales como las que se observan en la *figura 30*.



*Figura 30. Sujetadores.*

### 3.9.4. Selección del material para los sujetadores

Para la selección del material de los sujetadores se procedió por el plástico PLA debido a su costo y fácil manejo ya que se pueden fabricar en la misma Impresora multifunción 3D millaprint de acuerdo a la necesidad. Para la validación se realizó una investigación de cuánto soportan las piezas impresas en PLA.

Según el test de resistencia de materiales de airwolf 3D el PLA sobrevivió intacto con casi 130 kilos de peso colgando, con una resistencia a la tracción de 7.250 psi (formizable, 2017).

### 3.9.5. Selección del tornillo de las bridas

La longitud ideal del tornillo es aquella donde solo sobresalen una o dos roscas de la tuerca después de que se aprieta. Para seleccionar los tornillos a usar se lo hace mediante catálogo conociendo una carga de 100 N, produciendo un esfuerzo cortante en el tornillo. Ver anexo 4.

### 3.10. Sistemas de velocidad variable

El variador electrónico de velocidad es el adecuado para el motor trifásico de una potencia de 1.5KW (Ver anexo 7). Es un equipo compuesto de elementos electrónicos de potencia, que acciona un motor jaula de ardilla y realiza su arranque y su parada de manera suave.

Adicionalmente, varía de manera controlada la velocidad del motor. Mediante la variación de la frecuencia aplicada al motor se varía la velocidad del motor con base en la siguiente relación:

$$n_s = \frac{120 * f}{p} \quad (9)$$

Donde:

$n_s$  = es la velocidad sincrónica



f =es la frecuencia aplicada

p =es el número de polos

$n_s = (120 \times 400) / 2$

$n_s = 24000$  rpm

### Convertidor de Frecuencia

El variador de frecuencia también llamado drive y por sus siglas en inglés CF, transmite las siguientes órdenes utilizando una comunicación bidireccional entre el operador y la máquina:

- Consignas de velocidad.
- Órdenes de marcha paro.
- Estado del variador.
- Alarmas.
- Estado del motor.

El variador de frecuencia que cumple con los requerimientos es: “HY Inverter”



**Figura 31.** Variador de frecuencia.

**Fuente:** (Guangdong China, 2017).

Características del variador de frecuencia:

Nombre de la marca: HY Inverter

Tipo: 1.5 kW / 110V

Voltaje de entrada: 110V Voltaje de salida: 110VAC

Frecuencia de entrada: 48-63 Hz

Frecuencia de salida: 0-400 Hz

Fase de entrada: 1 o 3 fases

Fase de salida: fase 3

Tolerancia de desviación de 0.01 mm (0.0006 ")

El modo de control es SPWM.

Fuertes funciones de protección. Aleta de protección contra el calor. Protección de sobrecarga. Protección de fusibles. Reinicie después de la parada instantánea, protección de pérdida.

El esquema de conexión variador (ver anexo 5).

### **3.11. Selección del láser**

Para la selección final del láser se toma como referencia el láser más comercial y popular en los sistemas de grabado y corte, es decir, el láser CO<sub>2</sub> y el láser semiconductor azul. La *tabla 9* muestra los criterios para la selección del láser con su respectiva ponderación.

***Tabla 9.***  
*Criterios de selección del láser.*

<b>Criterio</b>	<b>Láser de CO<sub>2</sub> (láser de gas)</b>	<b>Diodo láser de 15000mW Longitud de onda 445-450 (Blu-ray)</b>
Tipo de constitución	3	4
Disponibilidad	2	2
Costo	2	3
Tamaño	2	3
Disipación de calor	3	4
INSTALACIÓN	3	4
<b>SUMA</b>	<b>17</b>	<b>23</b>

*Nota. Comparación de los dos tipos de láser.*

Además de los datos obtenidos en la *tabla 9*, se tienen otros parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir el láser adecuado para la CNC multifunción. A continuación, se presentan los parámetros más importantes a tener en cuenta y que pueden ser los que determine la consecuencia del objetivo planteado.

**Enfriamiento:** enfriado por aire

**Velocidad máxima:** 250 mm/min

**Precisión:** 0.01mm

**Aplicación principal:** grabado y corte de acero inoxidable, hierro, aluminio anodizado, cerámica, piedra, madera, bambú, cuero, caucho, plásticos, entre otros

### 3.11.1. Láser Azul-Violeta de 15000mW

Dispositivo compacto, ligero y diseñado para realizar corte y grabado, su potencia de 15000mW es suficiente para los requerimientos de la máquina 3D Millaprint. Trabaja con una alimentación de 12V/3A y trabaja a una velocidad máxima de 250 mm/s. Ver *figura 32*.



*Figura 32. Laser Azul-Violeta.*

*Fuente: (Guangdong China, 2014).*

Se seleccionó el láser mediante los siguientes requerimientos:

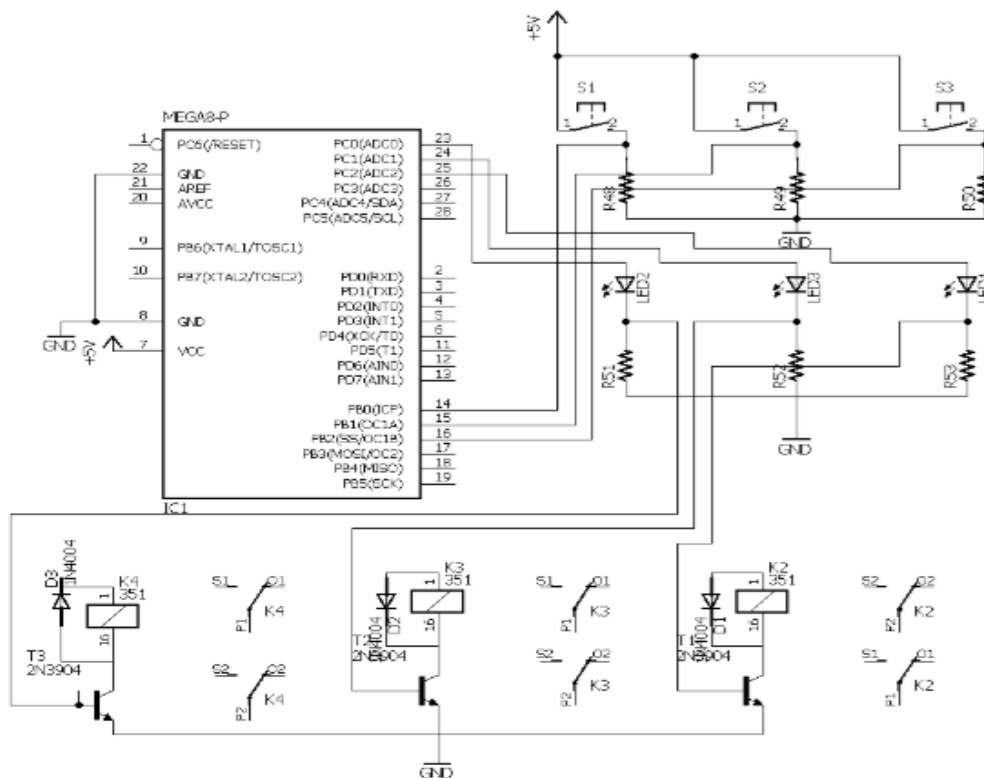
- \* Materiales a grabar: acero inoxidable, hierro, aluminio anodizado, cerámica, piedra, madera, bambú, cuero, caucho, plásticos, entre otros.
- \* Materiales a cortar: madera, telas, cuero, goma Eva, papel, cartón.

### 3.12. Diseño de la interface HMI.

Para el diseño de la interfaz se procedió a la incorporación de un circuito secundario (selector de funciones), que permita seleccionar el proceso de manera óptima e intuitiva.

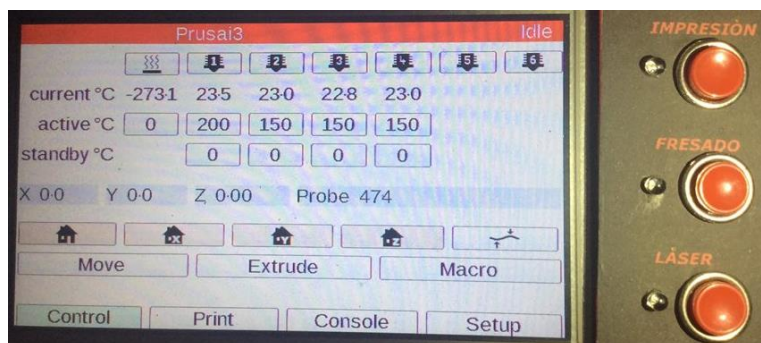
### 3.12.1. Circuito selector de funciones

Para un correcto funcionamiento de la máquina multifunción “3D MILLAPRINT” es necesaria la incorporación de un circuito secundario como se aprecia en la *figura 33*, encargado de limitar las funciones, esto se lo realiza para que la máquina se más operativa en los distintos procesos, desactivando los innecesarios y activando únicamente el seleccionado por el operario, evitando errores y posibles accidentes durante la operación.



*Figura 33. Selector de función.*

Para un mejor manejo de la máquina se procede a ubicar los botones de selección junto con la pantalla Duet, esto se lo realizó para que el manejo se fácil y muy intuitivo. Como se puede observar en la siguiente figura se agrupó de manera estratégica la pantalla y botones de selección.



*Figura 34. Interfaz 3D MILLAPRINT.*

Además de la pantalla de Duet, tiene una pantalla secundaria donde se puede visualizar el número de revoluciones, sentido de giro del motor herramienta, también cuenta con botones de puesta en marcha y paro del motor herramienta, esto es para cuando se quiera proceder a la herramienta de manera manual o automático por medio de la interfaz, como se puede observar en la *figura 35*.

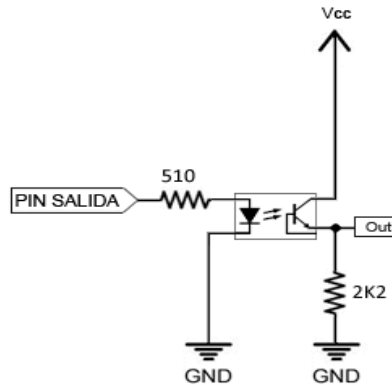


*Figura 35. ON OFF e Interface motor herramienta.*

### **3.13. Circuitos secundarios para el mando del sistema láser y de mecanizado (activación y desactivación)**

Para las funciones de grabado o cortado se necesita poder regular la potencia del láser y de la fresa, esto se logra mediante un arreglo de una señal opto acoplada la cual nos da varias ventajas, una de las cuales es de sistema de protección para la tarjeta principal y la otra es la de poder manejar voltajes más adecuados.

Mediante el arreglo mostrado en la *figura 36*, se puede variar la potencia del láser para corte o grabado, además se puede variar la velocidad de la fresa con un rango apropiado.



*Figura 36.* Circuito opto acoplador.

*Fuente:* (Luis, 2018).

### 3.14. Parámetros de diseño y selección del software de control.

Para el uso de la CNC multifunción se debe utilizar un software de control con las siguientes características:

- Debe ser compatible con la tarjeta de control duet ethernet.
- Debe ser compatible con el sistema operativo del ordenador.
- Debe permitir el control de velocidad y aceleración de los motores.
- Debe permitir el uso automático y manual del sistema láser.
- Debe permitir el uso automático y manual del sistema de mecanizado.

#### Generación de código G.

Para generar el archivo de código G instrucciones para mecanizar, cortar y grabar láser o imprimir en 3D, se parte de distintos softwares, que al final son leídos por la tarjeta controladora de la máquina.

### **Modificación del código G para poder controlar el sistema de mecanizado.**

Para poder controlar el sistema de encendido o apagado de la herramienta de fresado se requiere cambiar el código G.

En un CNC de mecanizado se procede a encender la herramienta con el código M5 y apagar con el código M4, los cuales serán reemplazados para encender la herramienta por M106 y el apagado será M107. Además de esto se puede introducir la velocidad de la herramienta agregando después del código M106 un sub comando que permite variar la velocidad de 0 a 24000 RPM para 0 RPM S00 y 24000 S255. Esto nos permite realizar un proceso de mecanizado totalmente automático.

#### **3.14.1. Modificación del código G para poder controlar el sistema láser.**

Para poder controlar el sistema de encendido o apagado de la herramienta láser se requiere generar el código G.

En un CNC de cortado y grabado por láser se procede a encender la herramienta con el código M106 y apagar con el código M107. Además de esto, se puede introducir la intensidad del láser agregando después del código M106 un sub comando que permite variar la potencia del láser de 8v a 12v: para 0v S00 que sería la potencia más baja y 12v S255 la potencia más alta. Esto nos permite realizar un proceso totalmente automático ya sea éste de corte o grabado.



### 3.14.2. Software para control de la máquina multifunción

Para el control de la máquina multifunción CNC existen varios programas de control que permiten posicionar la máquina, cargar archivos de código G e interpretarlos, para proveer al usuario una interfaz de control que permita conocer el estado de la máquina en todo momento

El programa utilizado es "inkscape" (software libre), puede ser estudiado, modificado, ya que es posible acceder al código fuente. Esto es bastante útil para conocer las funcionalidades del programa.

### 3.14.3. Configuración de los parámetros del firmware de la tarjeta controladora Duet.

Mediante la configuración se procederá a habilitar las características de un sistema CNC.

### 3.14.4. Código para el cero máquina.

Para la utilización de la máquina multifunción se agregó el código para cambiar la ubicación de las herramientas del cabezal extrusor, y así poder tener mayor maniobrabilidad sobre los otros cabezales, se implementó el siguiente código. La *tabla 10* muestra el código G que fue agregado en la configuración de la máquina.

**Tabla 10.**  
*Código G posicionamiento home*

<i>Código G posicionamiento home</i>
G91 Restablecimiento de la posición actual
G1 Z4 F500 Levante la cabeza 4 mm para mantenerlo alejado de la cama
G1 X-380 Y-380 U-16 F1500 S1 Curso home X e Y

---

G1 X4 Y4 U1 F600 Mueve 4 mm de distancia de los interruptores de inicio

G1 X-10 Y-10 U-3 S1 Posiciona el plato

G1 Z-380 F100 S1 Cursor home z

G1 X0 Y0 U7.5 F1000 Posiciona el plato en una zona segura

G30 Sondas de cama en la ubicación XY actual. **(A futuro)**

G92 Z0 Establecer posición

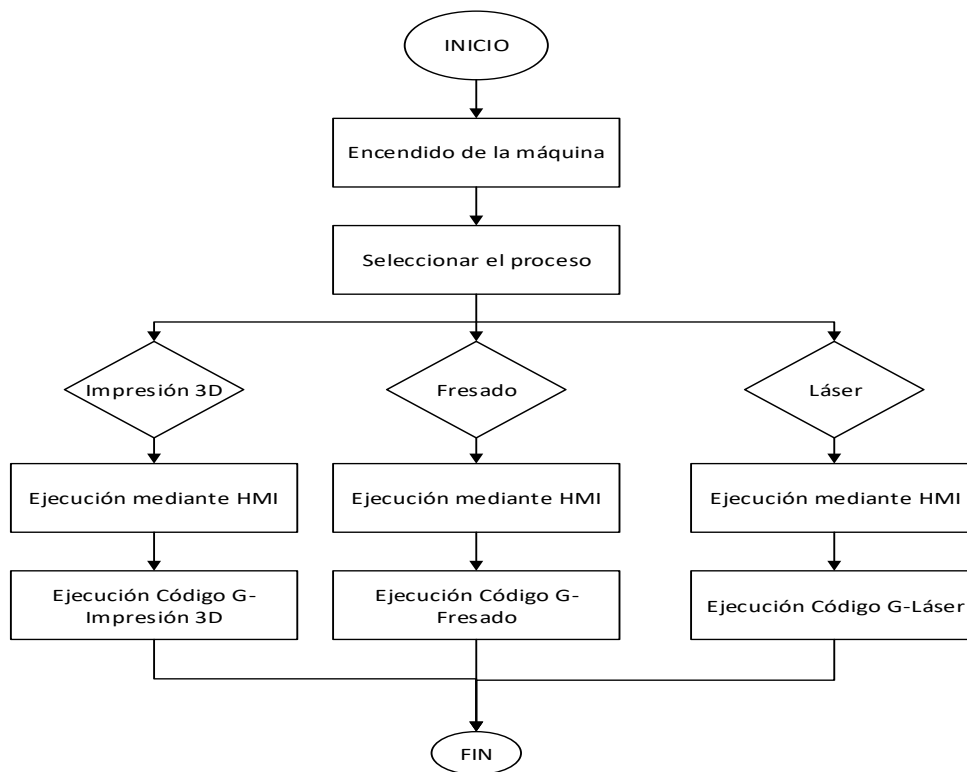
G90 Establecer en el posicionamiento absoluto

---

*Nota.* El código establece un punto de seguridad de las herramientas.

### 3.15. Selección del proceso de la máquina.

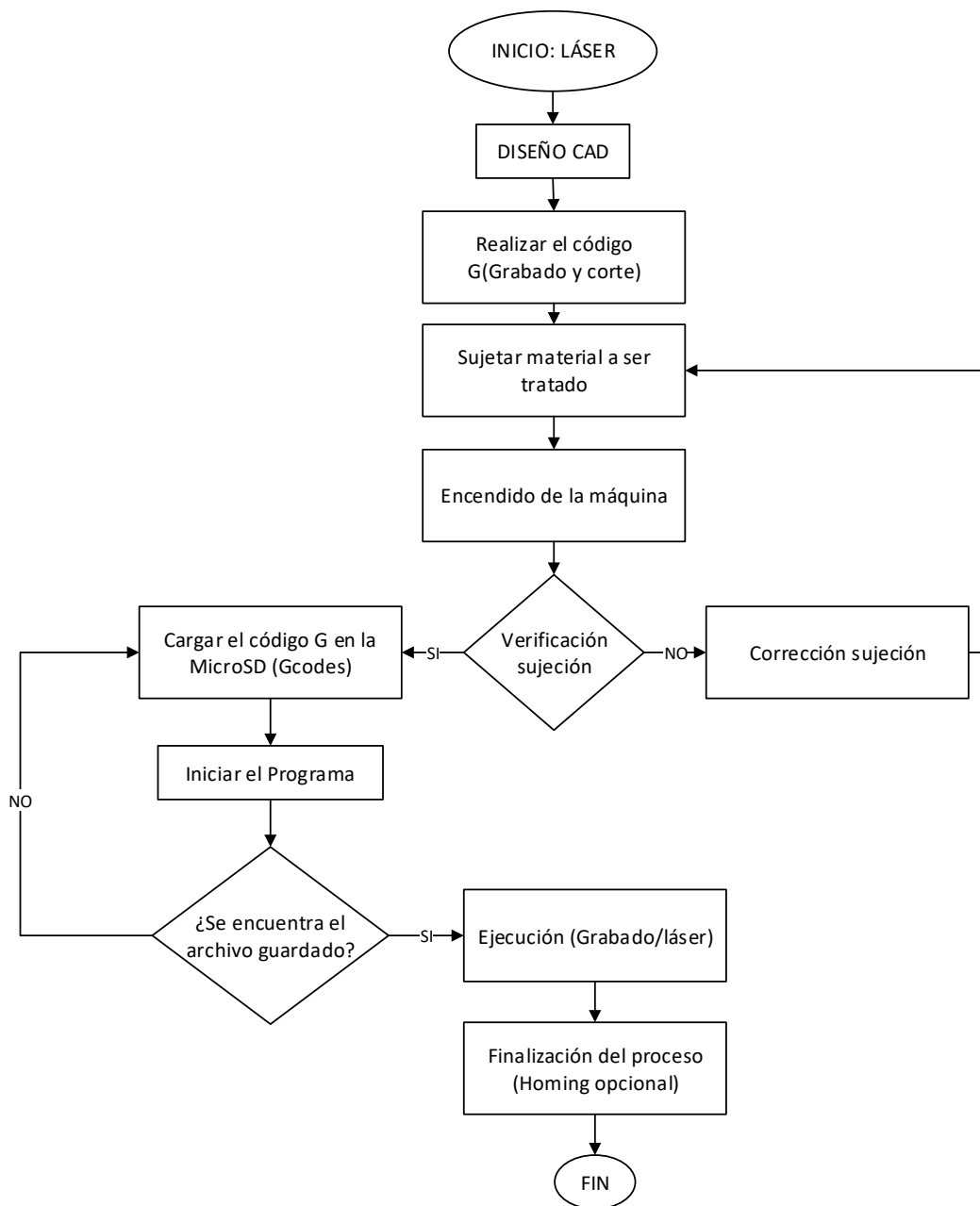
Se puede observar el proceso por el cual se selecciona los sistemas de impresión 3D, ruteo o fresado, cortador o grabador láser.



*Figura 37.* Diagrama de flujo de selección del proceso

### 3.16. Proceso de láser CNC.

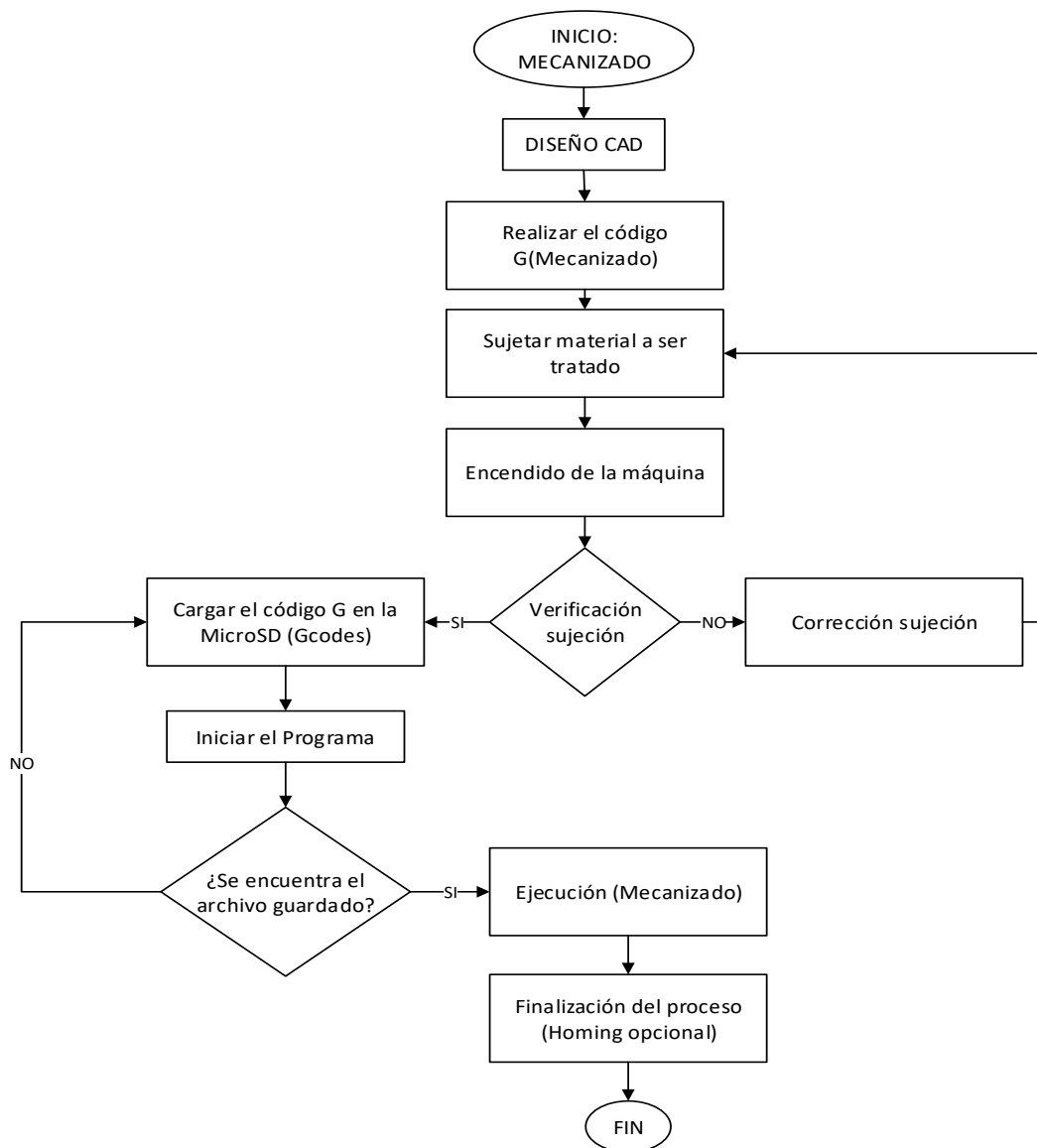
Se puede observar las diferentes etapas a seguir durante el proceso de corte o grabado, donde se realiza la configuración previa de la máquina y se finiquita con la comprobación del producto.



*Figura 38. Diagrama de flujo del proceso de corte o grabado CNC Láser.*

### 3.17. Proceso de mecanizado CNC.

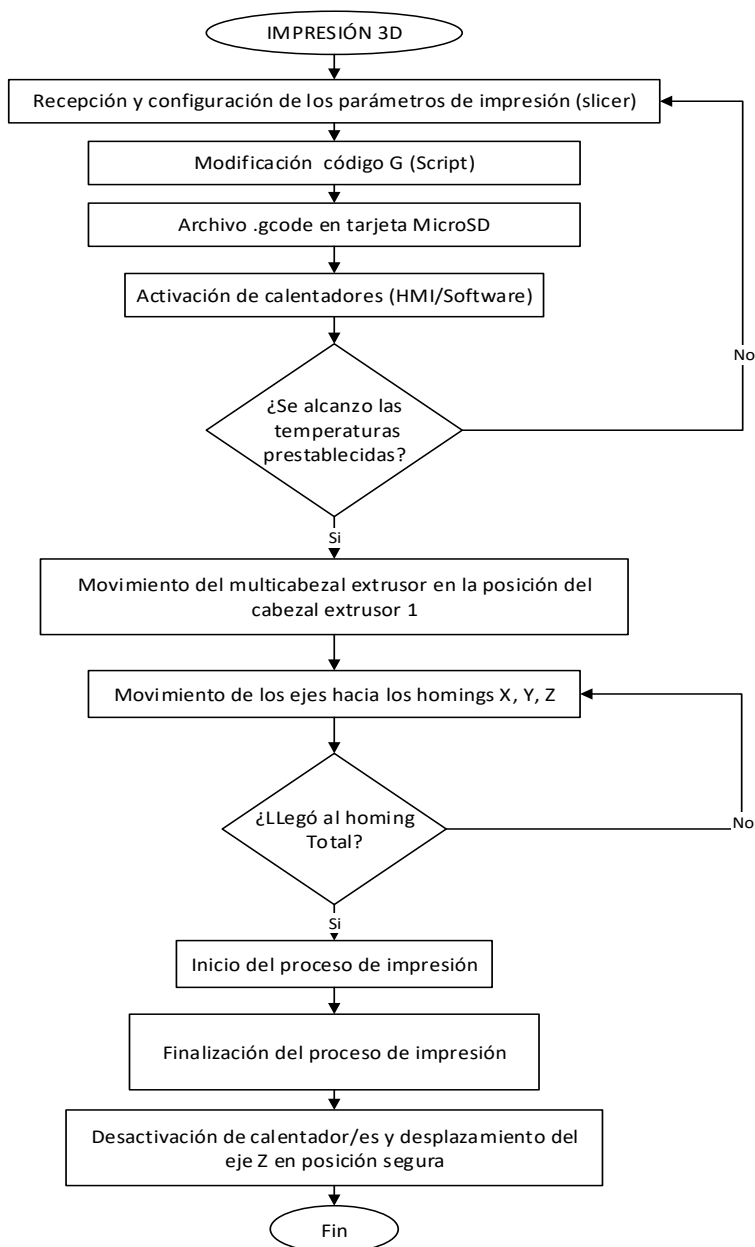
Se puede observar las diferentes etapas a seguir durante el proceso del mecanizado, donde se realiza la configuración previa de la máquina y se finiquita con la comprobación del producto



*Figura 39. Diagrama de Flujo del proceso de mecanizado CNC.*

### 3.18. Proceso de impresión 3D.

Se puede observar las diferentes etapas a seguir durante el proceso de impresión 3D, donde se realiza la configuración previa de la máquina y se finaliza con la comprobación del producto.



**Figura 40.** Diagrama de Flujo del proceso de impresión 3D.

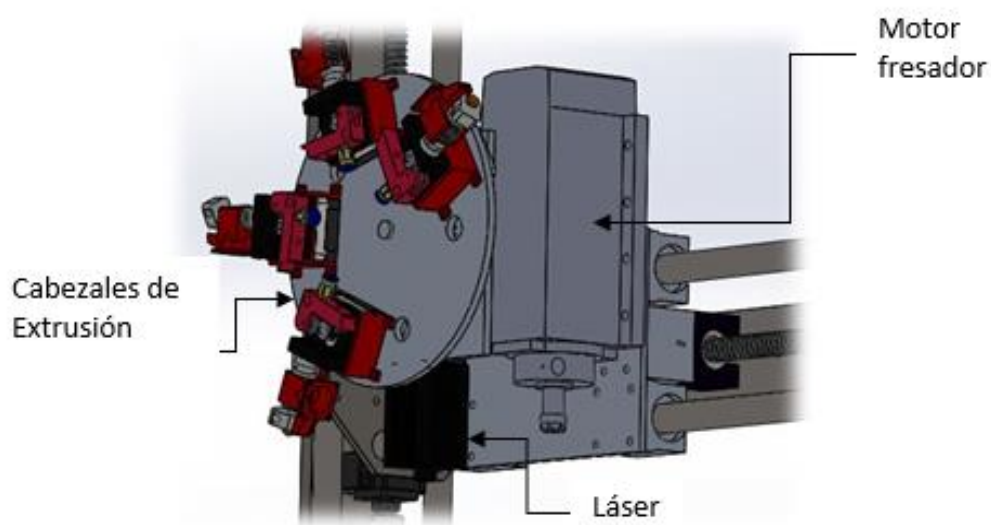
## CAPÍTULO IV

En este capítulo se enuncia lo obtenido de los diseños anteriormente desarrollados.

### PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO

#### 4.1. Resultado del funcionamiento del acople

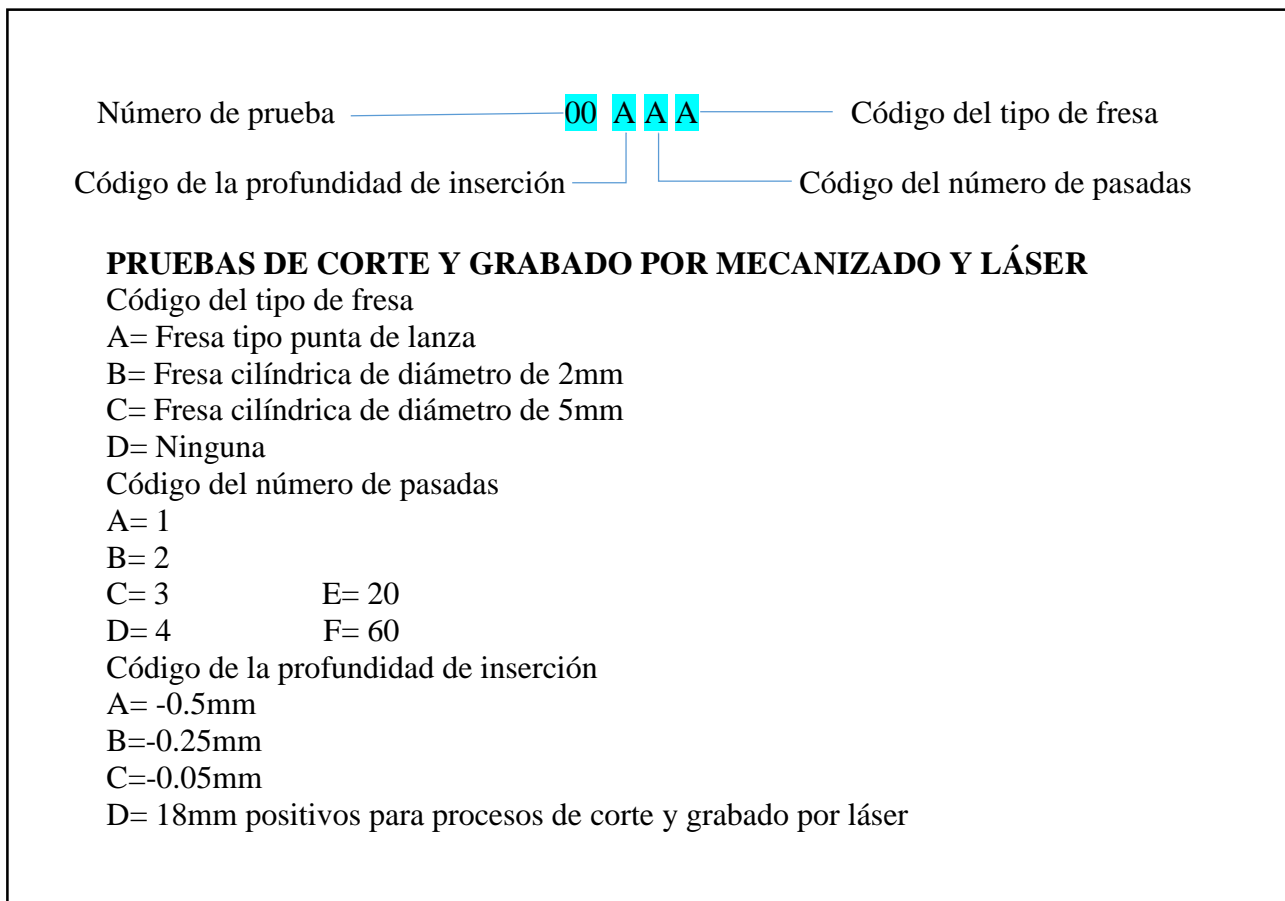
Después de haber realizado pruebas de funcionamiento se determina, que el sistema multifunción cumple con los requerimientos establecidos. Ver *tabla 1*, el sistema tiene un peso de 10 Kg, construido en aluminio, y todos los elementos que los conforman son desmontables. Además permite que la selección de función sea la adecuada según su distribución, como se puede observar en la *figura 41*.



*Figura 41.* Sistema multifunción montado sobre el eje X.

## 4.2. Codificación de las pruebas realizadas

Para poder simplificar la cantidad de parámetros que se deben seguir en el proceso de mecanizado y láser, se codificaron los siguientes:



## 4.3. Resultado del funcionamiento del láser

En cuanto al funcionamiento de la herramienta láser, se procede a realizar un protocolo de pruebas, el cual consta de parámetros de evaluación, para verificar el cumplimiento del alcance planteado al inicio del proyecto.

Las pruebas de funcionamiento que se realizó a la maquina multifunción CNC están compuesta de tres etapas donde se va a analizar las variables velocidad de corte, potencia del láser y tolerancia del corte o grabado.

**Primera Etapa:** Variando la velocidad de corte se puede apreciar el resultado final observando si es un corte o un grabado.

**Segunda Etapa:** En esta etapa se va a variar la potencia del láser, médiante software para después proceder a verificar si es corte o grabado.

**Tercera Etapa:** En esta etapa se va comprobar la fiabilidad de la máquina, realizando el grabado y corte en los distintos materiales para proceder a verificar si existe algún error en el funcionamiento de la máquina.

#### 4.3.1. Primera etapa

En esta etapa se va a comprobar la velocidad de corte con diferentes tipos de materiales, en la siguiente tabla se dan valores para corte y grabado.

**Tabla 11.**  
*Valores para corte y grabado*

<b>Grabado</b>	<b>0</b>
<b>Corte</b>	<b>1</b>

Se evaluó con una potencia del 100% del láser a una velocidad de 220mm/s descendiendo hasta 50 mm/s.



## 1. Madera.

**Tabla 12.**  
*Valores de grabado y corte para madera*

<b>Madera</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*01DAD	220	100	0
02DBD	150	100	1
*03DDD	50	100	1

**Nota.\*** Prueba de buena calidad

El corte en madera con una velocidad de 50mm/s y un total de 4 pasadas del láser como se puede observar en la *figura 42*, el corte es limpio y preciso.



**Figura 42.** Prueba de corte de madera.

## 2. Cartón prensado.

**Tabla 13.**

*Valores de grabado y corte para cartón prensado.*

Cartón prensado			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
* 04DAD	220	100	0
05DBD	150	100	1
*06DDD	50	100	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El corte en cartón prensado con una velocidad de 50mm/s y un total de 4 pasadas del láser como se puede observar en la *figura 43*, el corte es limpio y preciso.



**Figura 43.** Prueba de corteo de cartón prensado.

### 3. Goma Eva (foami).

**Tabla 14.**

Valores de grabado y corte para foami.

<b>Foami</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
07DAD	100	100	1
*08DAD	5	100	1
09DBD	2	100	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

### 4. Acero inoxidable.

**Tabla 15.**

Valores de grabado para acero inoxidable.

<b>Acero inoxidable</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
10DAD	10	100	fallida
11DBD	5	100	0
*12DCD	2	100	0

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

La prueba de grabado en acero inoxidable con una velocidad de 2mm/s y un total de 2 pasadas del láser como se puede observar en la *figura 44*, el grabado es de alta calidad



**Figura 44.** Prueba de grabado en acero inoxidable.

## 5. Tela.

**Tabla 16.**

Valores de grabado y corte para tela.

Tela			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*13DAD	220	100	1
14DAD	150	100	1
15DAD	50	100	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El corte en tela con una velocidad de 150mm/s y una pasada del láser como se puede observar en la *figura 45*, el corte es limpio y preciso.



**Figura 45.** Prueba de corte de tela.

## 6. Cartulina.

**Tabla 17.**  
*Valores de grabado y corte para cartulina.*

<b>Cartulina</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*16DAD	220	100	1
17DAD	150	100	1
18DAD	50	100	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

## 7. Cuero.

**Tabla 18.**  
*Valores de grabado y corte para cuero.*

<b>Cuero</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
19DAD	200	100	1
20DBD	150	100	1
*21DDD	50	100	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El corte en cuero con una velocidad de 50mm/s y un total de 4 pasadas del láser como se puede observar en la *figura 46*, el corte es limpio y preciso.



**Figura 46.** Prueba de corte de cuero.

## 8. Papel.

**Tabla 19.**

Valores de grabado y corte para papel.

<b>Papel</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*22DAD	220	100	1
23DAD	150	100	1
24DAD	50	100	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

## 9. Piedra.

**Tabla 20.**

Valores de grabado para piedra.

<b>Piedra</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*25DAD	220	100	0

26DAD	50	100	0
27DAD	5	100	0

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El grabado en piedra con una velocidad de 5mm/s y una pasada del láser como se puede observar en la *figura 47*, el grabado es de alta calidad.



*Figura 47. Prueba de grabado en piedra.*

### 4.3.2. Segunda Etapa

Para esta etapa de pruebas se va a observar el grabado y corte variando la potencia del láser.

Se evaluó con una velocidad de 200mm/s y una potencia de 100% descendiendo hasta 15 %.

#### 1. Madera.

##### **Tabla 21.**

*Valores de grabado y corte para madera*

<b>Madera</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado

*28DAD	200	100	0
*29DBD	200	50	1
30DDD	200	15	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El grabado en madera con una velocidad de 200mm/s obteniendo errores en el apagado y encendido del láser como se puede observar en la *figura 48*, el grabado es de alta calidad.



*Figura 48. Prueba de grabado en madera.*

## 2. Cartón prensado.

**Tabla 22.**

*Valores de grabado y corte para cartón prensado.*

<b>Cartón prensado</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*31DAD	200	100	0
*32DBD	200	50	0
33DDD	200	15	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad



El corte en foami con una velocidad de 100mm/s y un total de 1 pasadas del láser como se puede observar en la *figura 49*, el corte es limpio y preciso.



*Figura 49. Prueba de corte de foami.*

### 3. Goma Eva (foami).

**Tabla 23.**  
*Valores de grabado y corte para foami.*

<b>Foami</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*34DAD	200	100	1
35DAD	200	50	1
36DBD	200	15	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

#### 4. Acero inoxidable.

**Tabla 24.**

*Valores de grabado para acero inoxidable.*

<b>Acero inoxidable</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*37DCD	5	100	0
38DBD	5	50	fallida
39DAD	5	15	fallida

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

#### 5. tela.

**Tabla 25.**

*Valores de grabado y corte para tela.*

<b>Tela</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*40DAD	200	100	1
41DAD	200	50	1
42DAD	200	15	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

## 6. Cartulina.

**Tabla 26.**

*Valores de grabado y corte para cartulina.*

Cartulina			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*43DAD	200	100	1
44DAD	200	50	1
45DAD	200	15	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El corte en cartulina con una velocidad de 150mm/s y una pasada del láser como se puede observar en la *figura 50*, el corte es limpio y preciso.



**Figura 50.** Prueba de corte de cartulina.

## 7. Cuero.

**Tabla 27.**  
*Valores de grabado y corte para cuero.*

<b>Cuero</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*46DDD	200	100	1
47DBD	200	50	Fallida
48DAD	200	15	fallida

**1. Nota.** \* Prueba de buena calidad

## 8. Papel.

**Tabla 28.**  
*Valores de grabado y corte para papel.*

<b>Papel</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*49DAD	200	100	1
50DAD	200	50	1
51DAD	200	15	1

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El corte en papel con una velocidad de 200mm/s y una pasada del láser como se puede observar en la *figura 51*, el corte es limpio y preciso.



**Figura 51.** Prueba de corte de papel.

## 9. Piedra.

**Tabla 29.**  
Valores de grabado para piedra.

<b>Piedra</b>			
Prueba	Velocidad de avance (mm/s)	Potencia láser (%)	Resultado
*52DAD	200	100	0
53DAD	200	50	0
54DAD	200	15	0

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

### 4.3.3. Tercera Etapa

Para esta etapa de pruebas se va a comprobar la fiabilidad de la máquina, con los resultados de grabado y corte en los distintos materiales para proceder a verificar si existe algún error en funcionamiento de la máquina ver *tabla 30*.

**Tabla 30.**  
*Valores de grabado y corte*

<b>Material</b>	<b>Corte , grabado</b>	<b>Espesor</b>	<b>Velocidad de avance</b>	<b>Numero de pasadas</b>	<b>Potencia del láser 100%</b>	<b>Precisión</b>
Madera	1	5mm	50mm/s	4	100%	0.07
Cartón prensado	1	0.2mm	50mm/s	1	100%	0.05
Foami	1	2mm	200mm/s	1	75%	0.03
Tela	1	1mm	150mm/s	1	100%	0.02
Cartulina	1	0.3mm	200mm/s	1	50%	0.03
Cuero	1	2mm	50mm/s	4	100%	0.02
Papel	1	0.1mm	200mm/s	1	25%	0.01
Madera	0	0.4mm	220mm/s	1	25%	0.01
Cartón prensado	0	0.3mm	220mm/s	1	25%	0.01
Piedra	0	0.1mm	5mm/s	1	100%	0.01
Acero inoxidable	0	0.001	2mm/s	2	100%	0.01

**Nota.** Pruebas de buena calidad

#### **4.4. Resultado del funcionamiento sistema de mecanizado**

En cuanto al funcionamiento del cabezal de mecanizado, mediante un maquinado de prueba se procede a determinar el error en el proceso que era de alrededor 0,01mm, comprobando que la relación de pasos es correcta, y además el error puede ser corregido al realizar el código G.

Para las pruebas de mecanizado se realizó un protocolo de pruebas, el cual consta de parámetros de evaluación, para verificar el cumplimiento del alcance planteado al inicio del proyecto.

Las pruebas de funcionamiento que se realizó a la máquina multifunción CNC están compuestas de 3 etapas donde, se va a analizar las variables, velocidad de corte mediante el mecanizado, potencia de la herramienta y tolerancia del corte de la máquina.

**Primera Etapa:** Variando la velocidad de corte mediante el mecanizado se puede observar el resultado final observando la profundidad de corte.

**Segunda Etapa:** En esta etapa se va a variar las RPM de 0 a 2400 del motor herramienta mediante software, para después proceder a verificar su eficiencia.

**Tercera Etapa:** En esta etapa se va a comprobar la fiabilidad, calidad en los procesos de la máquina, realizando el mecanizado en los distintos materiales para proceder a verificar si existe algún error en funcionamiento de la máquina.

#### **4.4.1. Primera etapa**

En esta etapa se va a comprobar la velocidad de mecanizado con diferentes tipos de materiales.

Se evaluó con una velocidad de 400mm/s descendiendo hasta 200 mm/s.

#### **1. Madera.**

**Tabla 31.**  
*Valores de mecanizado para madera*

---

<b>Madera</b>
---------------

---

Prueba	Velocidad de corte		Resultado
	(mm/s)	RPM (%)	
*55AEA	400	100	Excelente
56BEB	200	100	Buena

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El mecanizado en madera con una velocidad de 150mm/s y un total de 20 pasadas de la fresa de diámetro de un milímetro, como se puede observar en la *figura 52*, es limpio y preciso.



*Figura 52. Prueba de mecanizado en madera.*

## 2. Baquelita.

**Tabla 32.**

*Valores de mecanizado para baquelita*

Baquelita			
Prueba	Velocidad de corte		Resultado
	(mm/s)	RPM (%)	
*57AEA	400	100	Excelente
58BEB	200	100	Buena

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El mecanizado en baquelita con una velocidad de 400mm/s y una pasada de la fresa de tipo punta de lanza, como se puede observar en la *figura 53*, el mecanizado es limpio y preciso.





*Figura 53. Prueba de mecanizado en baquelita.*

### 3. Acrílico.

**Tabla 33.**

*Valores de mecanizado para acrílico*

<b>Acrílico</b>			
Prueba	Velocidad de corte (mm/s)	RPM (%)	Resultado
59AEA	400	100	Buena
*60BEB	200	100	Excelente

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

El mecanizado en acrílico con una velocidad de 400mm/s y un total de 20 pasadas de la fresa de diámetro de un milímetro, como se puede observar en la *figura 54*, es limpio y preciso.



*Figura 54. Prueba de mecanizado en acrílico.*

#### 4. Aluminio.

**Tabla 34.**  
*Valores de mecanizado para aluminio*

<b>Aluminio</b>			
Prueba	Velocidad de corte (mm/s)	RPM (%)	Resultado
61AFA	400	100	Buena
*62CFB	200	100	Excelente

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

#### 4.4.2. Segunda Etapa

Para esta etapa de pruebas se va a observar el mecanizado variando las RPM.

Se evaluó con el 100% de RPM descendiendo hasta 75% de RPM.

#### 1. Madera.

**Tabla 35.**  
*Valores de mecanizado para madera*

<b>Madera</b>			
Prueba	Velocidad de corte (mm/s)	RPM (%)	Resultado
*63AEA	300	100	Excelente
64BEB	300	75	Buena

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

## 2. Baquelita.

**Tabla 36.**

*Valores de mecanizado para acrílico*

<b>Baquelita</b>			
Prueba	Velocidad de corte (mm/s)	RPM (%)	Resultado
*65AEA	300	100	Excelente
66BEB	300	75	Excelente

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

## 3. Acrílico.

**Tabla 37.**

*Valores de mecanizado para acrílico*

<b>Acrílico</b>			
Prueba	Velocidad de corte (mm/s)	RPM (%)	Resultado
*67AEA	300	100	Excelente
68BEB	300	75	Excelente

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

## 4. Aluminio.

**Tabla 38.**

*Valores de mecanizado para aluminio*

<b>Aluminio</b>			
Prueba	Velocidad de corte (mm/s)	RPM (%)	Resultado
*69AFA	300	100	Excelente

70CFB	300	75	Excelente
-------	-----	----	-----------

**Nota.** \* Prueba de buena calidad

#### 4.4.3. Tercera etapa

Para esta etapa de pruebas se va a comprobar la fiabilidad de la máquina, realizando el mecanizado en los distintos materiales para proceder a verificar si existe algún error en funcionamiento de la máquina ver *tabla 31*.

**Tabla 39.**  
*Valores de mecanizado*

Material	Espesor	Velocidad de avance	Numero de pasadas	Numero de RPM 100%	Precisión
Madera	5mm	150mm/s	20	60%	0.01
Baquelita	0.2mm	200mm/s	1	50%	0.01
Acrílico	3mm	200mm/s	20	50%	0.01
Aluminio	3mm	200mm/s	60	100%	0.01

**Nota.** Pruebas de buena calidad

#### 4.5. Costos del proyecto

**Tabla 40.**  
*Costos del proyecto.*

<b>Fresa y corte laser</b>				
1	MYSWEETY 1Set DIY 110V 1500W Air Cooled Spindle Motor 1.5KW Square CNC Machine Tool Spindle + 110V 1.5KW Inverter VFD + 13PCS ER11	U	601.80	601.80
1	Zowaysoon 15W 15000mW Pulse 450nm Universal High Power Laser Module Head DC 12V for DIY Metall Stone Gravur	U	654.90	654.90

<i>Cutting USB Laser Engraving Machine</i>				
20	<i>Cable # 14</i>	<i>M</i>	<i>0.30</i>	<i>6.00</i>
10	<i>Tornillos 1/8" x 3/4"</i>	<i>U</i>	<i>0.02</i>	<i>0.20</i>
10	<i>Tornillos 3/16"x1"</i>	<i>U</i>	<i>0.14</i>	<i>1.40</i>
1	<i>Perfiles de aluminio</i>	<i>U</i>	<i>45.00</i>	<i>45.00</i>
1	<i>Sujeciones de piezas impresas</i>	<i>U</i>	<i>5.00</i>	<i>5.00</i>
0.5	<i>Ángulo 3/4"</i>	<i>M</i>	<i>2.00</i>	<i>1.00</i>
1	<i>Otros gastos</i>	<i>U</i>	<i>50.00</i>	<i>50.00</i>
300	<i>Ingeniería (horas de trabajo hombre)</i>	<i>H</i>	<i>2.30</i>	<i>690.00</i>
<i>Costo Total</i>				<i>2055.30</i>

*Nota: En la tabla se ponen los valores invertidos en el proyecto*

Para la implementación del proyecto de tesis se utilizó materiales mecánicos, eléctricos, electrónicos y procesos de mecanizado. De acuerdo a la *tabla 12* se invirtió un total de \$2055.30.

Por lo tanto, el proyecto “SISTEMA MULTIFUNCIÓN DE PROTOTIPADO RÁPIDO MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA CNC PARA DESBASTE POR FRESADO Y GRABADO POR LÁSER A UNA IMPRESORA 3D MULTI-EXTRUSOR” la implementación al prototipo tuvo un costo bajo comparado con otras máquinas de similares características en el mercado.

## CAPÍTULO V

### Conclusiones

- Se realizó el diseño del soporte para la fresa y el láser considerando instalar los elementos empotrados en la placa principal del eje X en conjunción con el disco giratorio, este arreglo redujo las vibraciones que se generan durante el funcionamiento, además, de brindar una mayor seguridad y facilidad para el usuario.
- Se implementó en el cabezal existente un sistema multifunción de láser y mecanizado, con lo cual se consiguió un óptimo acoplamiento, evitando tiempos innecesarios para el cambio de proceso.
- Se validó el cabezal multifunción en la impresora “3D MILLAPRINT”, obteniendo una adaptación de los elementos a la HMI, utilizando software libre, dejando abierto a modificaciones y posibles mejoras, que pueden ser utilizados con fines académicos.
- El desempeño de láser para grabar y cortar aluminio anodizado, madera, acero inoxidable, entre otros, es de un 80% de la capacidad total, ya que el láser tiene una potencia media de 8w con una distancia 18mm que no puede ser ajustada y una vida útil de 1000 horas.
- El funcionamiento del motor de fresa para mecanizar en diferentes materiales es de 100%, al aprovechar las propiedades del motor trifásico, mediante un variador de frecuencia se regula la velocidad de rotación, en procesos manuales o automáticos según requiera el operador.
- El grabado mediante láser en materiales de mayor dureza como piedra o acero inoxidable, se obtuvo mejores resultados a una velocidad máxima de 5mm/s, mientras que para el corte en materiales de dureza media como madera o cartón prensado lo óptimo fue una velocidad

de 50mm/s y para materiales con menor dureza como papel, foami, cartulina se recomienda con velocidades altas 220mm/s.

- El mecanizado comprende un conjunto de operaciones, mediante la eliminación de material por arranque de viruta, obteniendo buenos resultados con velocidades que van desde 150 a 220mm/s. Para el material mas duro como lo es el aluminio 6061 TS se utilizó hasta 60 pasadas, para preservar la vida útil de la herramienta.

### **Recomendaciones**

- Para futuras investigaciones se debe considerar un sistema de control de laso cerrado, permitiendo un mayor desempeño en los distintos procesos, evitando pérdidas de pasos y asegurando la calidad de los productos.
- Se propone realizar una investigación de un sistema de extracción de viruta y humo que permita una mejor manipulación y visualización de los procesos
- Se sugiere diseñar un sistema de protección para el uso del láser, para ello se propone una cubierta de policarbonato.
- Es aconsejable tener conocimientos en el área de programación de tarjetas controladoras de impresión para poder modificar la programación e integrar sistemas complementarios de control.
- Instalar una sonda para auto corrección de errores en superficies irregulares y desniveles de la cama
- Acoplar una laser de CO2 para mayores aplicaciones en corte y grabado
- Cubrir los ejes y partes móviles

## Bibliografía

- ACCESORIOS DE LA MÁQUINA FRESADORA.* (s.f.). Obtenido de arukasi:  
<https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/accesorios-de-la-maquina-fresadora/>
- Amasuin.* (s.f.). Recuperado el 6 de Abril de 2018, de Calzos en V:  
<https://www.amasuin.com/productos/medicion/calzos-en-v/>
- Amazon.* (2017). Recuperado el 27 de 11 de 2017, de MYSWEETY 1Set DIY 110V 1500W Air Cooled Spindle Motor 1.5KW Square CNC Machine Tool Spindle + 110V 1.5KW Inverter VFD + 13PCS ER11: <https://www.amazon.com/MYSWEETY-Cooled-Spindle-Machine-Inverter/dp/B06Y42QL2R>
- Arieli, R. (2018). *La "Aventura del Láser" por Rami ARIELI.* Obtenido de Empaquetado del Láser de Diodo: <http://www.um.es/leq/laser/Ch-6/F6s3p18.htm>
- bang good.* (2018). Recuperado el 7 de Abril de 2018, de 15pcs ER11 1-7mm Spring Chuck Collet with ER11A 5mm Extension Rod Holder for CNC Milling Lathe Tool:  
[https://www.banggood.com/promotion-kitchenweek-5643.html?utm\\_id=3469](https://www.banggood.com/promotion-kitchenweek-5643.html?utm_id=3469)
- Calcass.* (2018). Recuperado el 4 de 4 de 2018, de Grabado y corte digital en diferentes materiales: <http://www.calcass.com.mx/router#>
- CARMAN, G. (5 de 11 de 2015). *Tipos de control numérico.* Recuperado el 10 de 29 de 2017, de Grupo CARMAN: <http://grupocarman.com/blog/tipos-de-control-numericoparte-i/>
- Casillas, A. (2008). *MÁQUINAS. CALCÚLOS DE TALLER.* MADRID: AUTOR-EDITOR.
- Catalogo VinilShop.* (2016). Recuperado el 2018, de Herramientas de corte y grabado:  
<http://www.fresado.com/documentos/Catalogo%20Ordenado%202012.pdf>
- Clpu.* (2013). Recuperado el 1 de 1 de 2018, de ¿QUÉ ES UN LÁSER?:  
<https://www.clpu.es/divulgacion/bits/que-es-un-laser>



*CNC Mecanizados*. (13 de Abril de 2015). Obtenido de Sujetar piezas en fresadoras CNC 2ª parte: <https://marcosmunoz.com/sujetar-piezas-en-fresadoras-cnc-parte-2/>

*Contaval*. (22 de Junio de 2017). Recuperado el 16 de 1 de 2018, de Sensores Inductivos Vdc de 3 hilos: <http://www.contaval.es/sensores-inductivos-vdc-3-hilos/>

*Copa-data*. (2018). Recuperado el 18 de 2 de 2018, de Interfaz hombre-máquina (HMI): <https://www.copadata.com/es/soluciones-hmi-scada/interfaz-hombre-maquina-hmi/>

Cruz Teruel, F. (2004). *Control Numérico y Programación*. España: S.A MARCOMBO.

FABLAB FACTORY. (2018). *FABLAB FACTORY*. Recuperado el 7 de Abril de 2018, de Shopbot PRSAlpha CNC: <https://www.fablabfactory.com/products/shopbot-prsalphacnc?variant=11115592839>

*formizable*. (2 de Agosto de 2017). Recuperado el 3 de 11 de 2017, de TEST DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE AIRWOLF 3D: ¿CUÁL ES EL FILAMENTO MÁS FUERTE?: <https://formizable.com/test-de-resistencia-de-materiales-de-airwolf-3d-cual-es-el-filamento-mas-fuerte/>

*fresadoras-cnc*. (2018). Recuperado el 6 de Abril de 2018, de Escuadra de Montaje: <http://www.fresadoras-cnc.com/tienda/accesorios-high-z/escuadra-de-montaje/>

*Fuente de poder*. (2010). Recuperado el 4 de enero de 2018, de Dmu.cl: <http://dmu.cl/fuentes-de-poder/fuentes-de-poder-24vdc>

*Fuente de Poder Vorago PSU-101, ATX, 500W*. (s.f.). Obtenido de Cyber Puerta : <https://www.cyberpuerta.mx/Computo-Hardware/Componentes/Fuentes-de-Poder-para-PC-s/Fuente-de-Poder-Vorago-PSU-101-ATX-500W.html>

Gerling, h. (1992). *AREDEDOR DE LAS MÁQUINAS-HERAMIENTAS* . Barcelona: REVERTÉ S.A.

*GlyduinoRobot Store*. (10 de Agosto de 2015). Recuperado el 5 de 2 de 2018, de Glyduino tope final mecánico módulo interruptor de límite 1.4 para 3D impresora para Arduino:

<https://es.aliexpress.com/item/Mechanical-Endstop-Module-Limit-Switch-RAMPS-1-4-for-3D-Printer/32683676313.html>

Gonzales, E. (2010). *Fundamentos de Fundamentos de Óptica*. Sevilla: E.S.Ingenieros - Universidad de Sevilla.

Guangdong China. (10 de Mayo de 2014). *aliexpress*. Recuperado el 23 de 2 de 2018, de Free shipping 15w high power laser engraving laser module 450nm blue laser head 15000mw laser engrave machine mark on metal: [https://www.aliexpress.com/item/Free-shipping-15w-high-power-laser-engraving-laser-module-450nm-blue-laser-head-15000mw-laser-engrave/32797547037.html?spm=2114.search0104.3.26.708a3c2fQkm41O&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_5\\_10152\\_10065\\_10709\\_1015](https://www.aliexpress.com/item/Free-shipping-15w-high-power-laser-engraving-laser-module-450nm-blue-laser-head-15000mw-laser-engrave/32797547037.html?spm=2114.search0104.3.26.708a3c2fQkm41O&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_5_10152_10065_10709_1015)

Guangdong China. (19 de Marzo de 2017). *Aliexpress*. Recuperado el 19 de 2 de 2018, de CIOOT HY vfd inverter 1.5kw variable frequency drive inverter 110v AC frequency converter 1.5KW for cnc spindle Machine: [https://www.aliexpress.com/item/CIOOT-HY-vfd-inverter-1-5kw-variable-frequency-drive-inverter-110v-AC-frequency-converter-1-5KW/32861034430.html?spm=2114.search0104.3.189.1a735116SGfqKe&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_5\\_10152\\_10709\\_10151\\_10065\\_103](https://www.aliexpress.com/item/CIOOT-HY-vfd-inverter-1-5kw-variable-frequency-drive-inverter-110v-AC-frequency-converter-1-5KW/32861034430.html?spm=2114.search0104.3.189.1a735116SGfqKe&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_5_10152_10709_10151_10065_103)

*La solución completa de ISCAR para taladrado de agujeros*. (AGOSTO de 2014). Recuperado el 3 de ABRIL de 2018, de Metalmecanica Internacional: <http://www.metalmecanica.com/temas/La-solucion-completa-de-ISCAR-para-taladrado-de-agujeros+97930>

Lasheras, J. M. (1996). *Tecnología Mecánica y Metrotecnica*. San Sebastián (España):

Donostiarra, S.A.

*linkSprite*. (2018). Recuperado el 7 de Abril de 2018, de DIY CNC 3 Axis Engraver Machine

PCB Milling Wood Carving Router Kit Arduino Grbl Assembled Version:

<http://store.linksprite.com/diy-cnc-3-axis-engraver-machine-pcb-milling-wood-carving-router-kit-arduino-grbl-assembled-version/>

López, J. R. (31 de Octubre de 2015). *tecnorlopez33*. Recuperado el 4 de Enero de 2018, de

Sensores: <https://sites.google.com/site/tecnorlopez33/tema7-servosistemas/04-sensores>

Luis, I. (24 de Abril de 2018). *Ingeniería, informática y diseño*. Recuperado el 27 de Abril de

2018, de SALIDAS Y ENTRADAS AISLADAS CON ARDUINO Y

OPTOACOPLADOR: <https://www.luisllamas.es/arduino-optoacoplador/>

*MANUAL DE USUARIO 3D MILLAPRINT*. (2018). Ibarra.

Marin, F. B. (2012). *Control Numerico Computarizado*. Recuperado el 18 de 10 de 2017, de

Universidad Nacional Abierta CCAV Neiva :

<http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/4883/1/Modulo%20Control%20Numerico%20Computarizado.pdf>

MCNC. (16 de 07 de 2014). *Historia y evolución del CNC | Industrias y Empresas*. Obtenido de

[Industriasyempresas.com.ar: http://www.industriasyempresas.com.ar/node/2088](http://www.industriasyempresas.com.ar/node/2088)

Méndez, J. (2018). *Sistema de movimiento giratorio y selección de cuatro extrusores para una*

*impresora 3D*. Ibarra. Recuperado el 23 de Mayo de 2018

*MG Maquilas*. (s.f.). Recuperado el 4 de ABRIL de 2018, de FRESADO CNC:

<https://www.mgmaquilas.com.mx/fresado-cnc>

*Mundo 3D Printer.* (2018). Obtenido de ÓPTICO TOPE FINAL LIGHT CONTROL FINAL DE CARRERA DE LA IMPRESORA 3D PARA PROYECTOS DE BRICOLAJE:

<http://www.mundo3dprinter.com/componentes/103-optico-tope-final-light-control-final-de-carrera-de-la-impresora-3d-para-proyectos-de-bricolaje.html>

*Norelem.* (2018). Recuperado el 27 de 2 de 2018, de Perfiles de aluminio 40x40 ligeros Tipo I:

<https://www.norelem.com/us/es/Productos/Vista-general-de-producto/T%C3%A9cnica-de-montaje/10000-Perfiles-de-aluminio-Conectores-Cubiertas-Elementos-especiales/Perfiles-de-aluminio/10045-Perfiles-de-aluminio-40x40-ligeros-Tipo-I.html>

Ogata, K. (2010). *SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO*. PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A. Recuperado el 16 de 10 de 2017

*Open Source .* (2012). Recuperado el 16 de 10 de 2018, de Gestión de Proyectos y Soluciones:

<https://www.gpsos.es/soluciones-open-source/definicion-de-open-source/>

*PanelDue for 3D printers.* (2015). Recuperado el 18 de 1 de 2018, de David Crocker's Solutions

blog: <https://miscsolutions.wordpress.com/paneldue/>

*Partesdel.com.* (s.f.). Obtenido de Partesdel.com:

[https://www.partesdel.com/partes\\_de\\_la\\_fresadora.html](https://www.partesdel.com/partes_de_la_fresadora.html)

Pérez, N. J. (s.f.). *unitec*. Recuperado el 30 de Octubre de 2017, de

<http://www.unitec.edu.ve/materiasenlinea/upload/T1954-5-1.pdf>

*Plaquitas para fresado: puede planear a 45°.* (s.f.). Obtenido de Iscar Ibérica, S.A.:

<https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Plaquitas-para-fresado-Helido-S845-F45SX-R16-18497.html>

Portilla Flores, R. (2018). *Sistema de generación de movimiento para una impresora 3D*

*multiextrusor.* Ibarra. Recuperado el 18 de Enero de 2018

*Progea*. (2014). Obtenido de Progea's HMI software: <https://www.progea.com/en/hmi/>

Rafael Ferre, M. (1988). *Como programar un control*. Barcelona: Marcombo.

RepRap. (2015). *Duet - RepRapWiki*. Recuperado el 18 de 10 de 2018, de Reprap.org:

<http://www.reprap.org/wiki/Duet>

*RETEFER S.A.S* . (2011). Obtenido de Juego de bridas:

[http://www.retefer.co/Referenciaview.asp?Codigo=73&keepThis=true&TB\\_iframe=true  
&height=340&width=740](http://www.retefer.co/Referenciaview.asp?Codigo=73&keepThis=true&TB_iframe=true&height=340&width=740)

Rojas, J. (14 de Junio de 2011). *Conociendo temporizadores*. Recuperado el 18 de 2 de 2018, de

CONTROL Y AUTOMATISMOS ELECTRICOS:

<http://conociendotemporizadores.blogspot.com/2011/06/sensores-capacitivos.html>

Sanchis, E., & Ejea, J. B. (2008). *El diodo láser*. Valencia.

*Sgpwe.izt*. (2018). Obtenido de Introducción a los Láseres:

[http://sgpwe.izt.uam.mx/pages/cbi/mfg/laseres1/material\\_adicional/semiconductor/DANI  
EL.html](http://sgpwe.izt.uam.mx/pages/cbi/mfg/laseres1/material_adicional/semiconductor/DANI<br/>EL.html)

*Techno*. (2008). Recuperado el 25 de 2 de 2018, de Techno Linear Motion Catalog. Canda:

[http://www.allair.com/downloads/files/H835\\_cat.pdf](http://www.allair.com/downloads/files/H835_cat.pdf)

*ZMORPH*. (2016). Recuperado el 19 de Marzo de 2018, de

<https://www.trdimension.com/zmorph>

**ANEXOS.**

**Anexo 1. Propiedades mecánicas promedio para ingeniería**

**Anexo 2. Air cooled square spindle.**

**Anexo 3. Características láser.**

**Anexo 4. Catálogo pernos avellanados**

**Anexo 5. Muelle helicoidal**

**Anexo 6. Perfil en x**

**Anexo 7. Variador de frecuencia**

**Anexo 8. Micro-Atmega8**

**Anexo 9. Código para “selección de funciones”**

**Anexo 10. Lamina base x**

**Anexo 11. Lamina Soporte Plato Multiextrusor1**

**Anexo 12. Lamina explosionada total1**

**Anexo 13. Plano de potencia CNC**

**Anexo 14. Plano eléctrico CNC**

**Anexo 15. Manual de usuario 3D MILLAPRINT**