



**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE FRESADORA CNC PORTABLE PARA
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA TALLER PEDRITORNO
UBICADA EN AGUSTÍN CODAZZI - CESAR, COLOMBIA.**

JAIRO ROBERTO GARCIA PAREDES

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS MECÁNICA, MECATRÓNICA E
INDUSTRIAL**
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
PAMPLONA
2019

DCS is member of:



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK



*Formando líderes para la construcción de un
nuevo país en paz*



DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE FRESADORA CNC PORTABLE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA TALLER PEDRITORNO UBICADA EN AGUSTÍN CODAZZI - CESAR, COLOMBIA.

JAIRO ROBERTO GARCÍA PAREDES

Trabajo de tesis para optar el título de ingeniero en mecatrónica

Asesor

Diego Armando Mejía Bugallo. Ing. en Mecatrónica, Msc.

Director de programa Ingeniería en Mecatrónica

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS MECÁNICA, MECATRÓNICA E
INDUSTRIAL**

PAMPLONA

2019

DCS is member of:



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK





Nota de aceptación:

Asesor de proyecto

Jurado

Jurado

Pamplona, 11 de Marzo de 2019.

DCS is member of:





DEDICATORIA.

A mis padres: Jairo Luis García Ariza y María Elena Paredes López, por formarme con buenos principios y valores, haciéndome sentir una persona útil a la sociedad.

A mis hermanos: José Julián García Paredes y María Daniela García Paredes, quienes creyeron en mis capacidades.

Dios los bendiga hoy y siempre.

DCS is member of:



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK



AGRADECIMIENTOS.

Doy gracias a Dios por escucharme, bendecirme y mantenerme con su santa voluntad ante esos momentos en los cuales parecía desfallecer y en lo que me demostraste lo grande, poderoso y maravilloso que eres, gracias por permitirme este gran logro en mi vida.

Gracias a mis padres por ser los promotores de mis estudios, por darme el amor y apoyo incondicional para seguir adelante, por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guían en la vida.

Gracias a la Universidad de Pamplona por convertirme en un profesional en la carrera que escogí para realizarme en el campo laboral.

Agradezco a los docentes que me motivaron para realizar con éxito mi proyecto de vida, por sus oportunas orientaciones, por compartir su conocimiento y sobre todo la inspiración de ser un profesional en esta carrera.

Para finalizar, les agradezco a todos mis amigos los cuales nos apoyamos mutuamente en nuestra formación personal y profesional.

DQS is member of:



*Formando líderes para la construcción de un
nuevo país en paz*

CONTENIDO.

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
CONTENIDO.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABLAS.....	16
LISTA DE ANEXOS.....	18
GLOSARIO.....	19
RESUMEN.....	20
ABSTRACT.....	21
INTRODUCCIÓN.....	22
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	23
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
3. JUSTIFICACIÓN.....	26
4. OBJETIVOS.....	28
4.1. Objetivo general.....	28
4.2. Objetivos específicos.....	28
5. MARCO REFERENCIAL.....	29
5.1. Antecedentes.....	29
5.2. Marco conceptual.....	29
5.3. Marco teórico.....	32
5.3.1. Máquinas de control numérico computarizado CNC.....	33
5.3.2. Programación CNC.....	34
5.3.3. Programación de control numérico.....	35

5.3.4.	Estructura de un programa CNC.....	37
5.3.5.	Integración CIM.....	39
5.3.6.	Sistema CAD.....	40
5.3.7.	Sistema CAM.	42
5.3.8.	CAD/CAM en el proceso de diseño y fabricación.....	44
5.3.9.	Intercambio de datos CAD/CAM.	46
5.3.10.	Tipos de datos intercambiables.	47
5.3.11.	Formatos básicos neutrales.....	48
5.3.12.	Archivos DXF.....	49
5.4.	Teoría de la simulación.....	50
5.5.	Precisión, repetitividad y resolución.....	53
5.5.1.	Precisión.	54
5.5.2.	Repetitividad.	54
5.5.3.	Resolución.	54
5.6.	Ventajas y desventajas de un sistema CNC.....	55
6.	ESTRUCTURA Y SISTEMA DE CONTROL.....	57
6.1.	Sistemas de control.....	57
6.1.1.	Lazo abierto.	57
6.1.2.	Lazo cerrado.	58
6.2.	Tipos de control según su función.....	58
6.2.1.	Control punto a punto.....	59
6.2.2.	Control paraxial.....	59
6.2.3.	Control continuo.....	60
6.3.	Interpolación.....	61

6.3.1.	Interpolación lineal.	61
6.3.2.	Interpolación circular.	62
7.	COMPARACIÓN DE UTILIZACIÓN ENTRE MAQUINAS CONVENCIONALES Y CNC.....	63
8.	FRESADORA.....	64
8.1.	Ejes de la fresadora.....	65
8.2.	Cinemática de la fresadora.....	66
8.3.	Clases de fresadoras.....	66
8.4.	Partes mecánicas.....	68
8.5.	Tipos básicos de fresados.....	69
8.6.	Tipos de fresado cilíndrico y frontal.....	70
8.6.1.	Fresado cilíndrico.....	71
8.6.2.	Fresado frontal.....	71
9.	FRESAS.....	75
9.1.	Tipo de fresas.....	75
9.2.	Operaciones de fresado.....	81
9.3.	Parámetros del fresado.....	81
10.	MARCO LEGAL.....	85
11.	MARCO CONTEXTUAL.....	87
12.	METODOLOGÍA.....	88
12.1.	Participantes o sujetos.....	88
12.2.	Programas CAD a utilizar.....	89
12.3.	Diseño en la realización del entorno del programa CAD.....	89
12.4.	Procedimiento.....	92

13.	CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	93
14.	DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	94
14.1.	Materiales para la implementación.....	94
14.2.	Sistema de transmisión.....	95
14.2.1.	Varilla roscada trapezoidal.....	96
14.2.2.	Rodamiento eje de transmisión con acople de fijación.....	97
14.2.3.	Rodamiento para eje.....	98
14.2.4.	Acople de transmisión.....	99
14.3.	Etapas de la implementación CAD del prototipo.....	100
14.3.1.	Ensamblaje del prototipo de fresadora CNC portable.....	102
14.3.1.1.	Deslizamiento.....	102
14.3.1.2.	Base.....	102
14.3.1.3.	Brazo.....	104
14.3.1.4.	Cabeza de fresado.....	105
14.4.	Cargas estáticas simuladas.....	110
14.5.	Especificaciones del prototipo.....	113
14.6.	Simulación de la construcción del prototipo.....	114
14.7.	Etapas de la implementación electrónica del prototipo.....	122
14.7.1.	Controlador.....	122
14.7.2.	Driver.....	125
14.7.3.	Motores.....	127
14.7.3.1.	Motor PaP (paso a paso).....	128
14.7.3.2.	Actuador lineal eléctrico.....	130
14.8.	Finales de carrera.....	131

14.9.	Fuente de alimentación	133
14.10.	Desarrollo de la programación.	135
14.10.1.	Determinación del desplazamiento de los ejes	136
14.10.2.	Función de movimiento de los ejes	137
14.10.3.	Pines de conexión para finales de carrera	138
14.10.4.	Diagrama de flujo de maquinado.	139
14.10.4.1.	Rutina de interpretación del programa.....	139
14.10.4.2.	Rutina de activación.	140
14.10.5.	Interfaz del manejo de la máquina.	141
14.10.6.	Código.....	143
14.10.7.	Prueba de laboratorio.	146
15.	IMPACTOS Y PRESUPUESTO.....	156
15.1.	Presupuesto.	157
	CONCLUSIONES.....	159
	RECOMENDACIONES.....	160
	REFERENCIAS.....	161
	ANEXOS.....	166

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Máquinas-herramienta del Taller PEDRI-TORNO.	24
Figura 2. Máquina-herramienta (Fresadora) averiada.	26
Figura 3. Esquema de maquina CNC de cinco ejes (a) y tres ejes (b).	34
Figura 4. Flujo de procesamiento de una maquina CNC.	35
Figura 5. Estructura de bloques para programación CNC.	37
Figura 6. Estructura del bloque de programación CNC.	37
Figura 7. Fases del programa CNC.	38
Figura 8. Cuadro de Herramientas 2D de software CAD.	41
Figura 9. Generación de códigos g y simulación de trayectoria en SolidCAM.	43
Figura 10. Pos-procesamientos y simulación de programación CN de SolidCAM.	44
Figura 11. Ciclo de un producto típico.	45
Figura 12. Intercambio de archivos CAD.	47
Figura 13. Procesado y programación en Unreal Engine.	53
Figura 14. Sistema de control de lazo abierto.	57
Figura 15. Sistema de control de lazo cerrado.	58
Figura 16. Control punto a punto.	59
Figura 17. Control paraxial.	60
Figura 18. Control interpolador (continuo).	60
Figura 19. Interpolación lineal.	61
Figura 20. Interpolación circular.	62
Figura 21. Fresadora.	64

Figura 22. Desplazamiento de los ejes de la fresadora.	65
Figura 23. Maquinas fresadoras: Vertical (izq.), Paralela (centro), Planear (der.).	67
Figura 24. Fresadora CNC.....	68
Figura 25. Partes de la fresadora.....	69
Figura 26. Fresado frontal.....	70
Figura 27. Fresado cilíndrico.....	70
Figura 28. Oposición (Izq.) y Concordancia (Der.).....	71
Figura 29. Avance axial.	72
Figura 30. Fresado convencional.....	72
Figura 31. Fresado parcial de caras.	73
Figura 32. Fresado terminal.....	73
Figura 33. Fresado de perfiles.	74
Figura 34. Fresado de cavidades.....	74
Figura 35. Fresas para madera y cortes que realizan.....	80
Figura 36. Parámetros de corte.	82
Figura 37. Fuerza de corte (Fc), fuerza axial (Fa) y fuerza radial (Fr).	84
Figura 38. Taller PedriTorno.	88
Figura 39. Ventana de trabajo.....	90
Figura 40. Modelo en 3D.	91
Figura 41. Comando de mando.	92
Figura 42. Husillo de Bolas.	96
Figura 43. Varilla roscada trapezoidal.....	97
Figura 44. Rodamiento para eje.....	97

Figura 45. Realización de prensado para rodamiento y acople.	98
Figura 46. Rodamiento para eje.....	99
Figura 47. Acople rígido con nailon.....	100
Figura 48. Esquema CNC.....	101
Figura 49. Flujo de trabajo CNC.	102
Figura 50. Vista isométrica de la base.....	103
Figura 51. Vista isométrica del brazo (eje X).	104
Figura 52 . Vista isométrica de la Cabeza (eje Z).	106
Figura 53. Parte Inmóvil del Eje Z.....	107
Figura 54. Parte móvil del eje Z.	108
Figura 55. Estructura del prototipo de Fresadora CNC.....	109
Figura 56. Unión de Varilla Trapezoidal con Rodamiento.....	110
Figura 57. Modelo de la Ley de Hooke (elasticidad).	111
Figura 58. Tensión de Von Mises.	112
Figura 59. Desplazamiento de la fuerza ejercida.....	112
Figura 60. Prototipo de fresadora CNC portable ensamblada.	114
Figura 61. Soporte de Base	115
Figura 62. Unión de las bases laterales con los soportes.....	116
Figura 63. Unión de la mesa de trabajo al prototipo.	116
Figura 64. Unión de los soportes de motores a la base del prototipo.	117
Figura 65. Instalación del sistema de transmisión junto con el motor de movimiento del eje Y.....	117
Figura 66. Conformación del brazo junto con el soporte y el sistema de transmisión.....	118

Figura 67. Acoplamiento del sistema del eje Z en el sistema de transmisión del eje X.	118
Figura 68. Unión del sistema del eje Z con su base y el motor de fresado.	119
Figura 69. Unión de los motores del eje X-Z junto con soporte.	119
Figura 70. Unión de los sistemas que conforman el prototipo de fresadora CNC portable.	120
Figura 71. Finalización de la simulación del diseño del prototipo de fresadora CNC portable.	121
Figura 72. Arduino Uno Rev3.	122
Figura 73. Módulo L298N	125
Figura 74. Conexión del Driver L298N con Arduino y motor PaP.	126
Figura 75. PCB Conexión de arduino a módulo L298N.	127
Figura 76. Motor Nema 23 de 9Kg/cm	129
Figura 77. Actuador lineal Eléctrico.	131
Figura 78. Final de carrera.	132
Figura 79. Fuente suicheada 12V.	133
Figura 80. Esquema de control del prototipo de fresadora CNC portable.	135
Figura 81. Pasos a realizar código.	136
Figura 82. Diagrama de flujo de interpretación de coordenadas.	140
Figura 83. Diagrama de flujo de rutina de activación.	141
Figura 84. Interfaz de manejo del prototipo.	142
Figura 85. Código presentado en Matlab.	144
Figura 86. Algoritmo de comunicación serial Matlab-Arduino.	144
Figura 87. Código presentado en el software de Arduino.	145
Figura 88. Código de los pasos de la CNC en Arduino.	146

Figura 89. Prueba 1 Interfaz en Matlab.....	147
Figura 90. Prueba 1 Interfaz para mover el actuador lineal.	147
Figura 91. Prueba 1 actuador lineal.	148
Figura 92. Prueba 2 comunicación serial vía Bluetooth sin datos.....	149
Figura 93. Prueba 2 Comunicación serial vía Bluetooth con datos.....	149
Figura 94. Prueba 2 código realizado vía Bluetooth en Matlab.....	150
Figura 95. Código de comunicación vía Bluetooth en Arduino.	150
Figura 96. Prueba 3 vista del servo-motor con interfaz en posición 0.....	151
Figura 97. Prueba 3 vista del servo-motor con interfaz en posición 100.....	151
Figura 98. Código realizado en Matlab.	152
Figura 99. Prueba 4 Movimiento 1 de un motor PaP.	153
Figura 100. Prueba 4 Movimiento 2 de un motor PaP.	153
Figura 102. Prueba 4 Conexión Arduino con Módulo L298N.....	154
Figura 103. Prueba 4 interfaz realizada en Matlab.	154

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de las empresas.....	32
Tabla 2. Herramientas CAM para el proceso de fabricación.....	46
Tabla 3. Herramienta CAD para el proceso de diseño.....	46
Tabla 4. Identificadores para la sección ENTIDADES de archivo DXF.....	50
Tabla 5. Comparación MH convencional y MHCNC.	63
Tabla 6. Usos y selección de fresas.	76
Tabla 7. Usos y selección de fresa.	77
Tabla 8. Usos y selección de fresa.	78
Tabla 9. Usos y selección de fresa.	79
Tabla 10. Lista de piezas Base (eje Y).	103
Tabla 11. Lista de piezas brazo (eje X).....	105
Tabla 12. Lista de piezas cabeza (eje Z).	108
Tabla 13. Resultados de Cargas Estáticas.	111
Tabla 14. Especificaciones principales del prototipo de fresadora CNC.....	113
Tabla 15. Características de Arduino.....	123
Tabla 16. Característica del driver L298N.....	126
Tabla 17. Característica del motor Nema 23	129
Tabla 18. Características principales de fuente de alimentación.	134
Tabla 19. Pines a usar para los motores.	137
Tabla 20. Movimiento de ejes.	137

Tabla 21. Valores de presión específica de corte Ks0 para materiales de uso frecuente.....	138
Tabla 22. Pines de conexión para finales de carrera.....	139
Tabla 23. Impactos esperados después de finalizar la tesis de grado.....	156
Tabla 24: Presupuesto de la tesis de grado.....	157

DQS is member of:



LISTA DE ANEXOS.

Anexo1. Códigos G.....	165
Anexo 2. Códigos M.....	166
Anexo 3. Gcode tols.....	167
Anexo 4. Diagrama de Arduino Uno Rev3.....	168
Anexo 5. Diseño de motor NEMA 23.....	169
Anexo 6. Módulo L298N.....	170
Anexo 7. Cuadro comparativo de selección de materiales.....	171
Anexo 8. Código del prototipo de fresadora CNC portable en Matlab para interfaz.....	172
Anexo 9. Código del prototipo de fresadora CNC portable en Arduino.....	175
Anexo 10. Código en Matlab de la prueba 1 Actuador Lineal	180
Anexo 11. Código de comunicación vía Bluetooth en Arduino.....	182

RESUMEN.

El trabajo de aplicación tiene como objetivo realizar un diseño de un prototipo de fresadora CNC portable para mejorar la productividad en la empresa Taller PedriTorno ubicada en Agustín Codazzi – Cesar, Colombia, por lo tanto, con este trabajo se pretende realizar el esquema paso a paso a través del uso de un software computarizado de la máquina mediante simulaciones que permitirá solventar las necesidades de producción que se presentan en la empresa seleccionada para el estudio de caso.

Este trabajo se dividirá en el diseño básico de la máquina, los componentes básicos y funciones de la misma a través de la aplicación de microcontroladores, programación computarizada esto será explicado paso a paso. Luego se detallara el diseño mecánico de la fresadora CNC portable detallando cada uno de los cálculos utilizados para el desarrollo del diseño. También se realizara una simulación de proceso de construcción y verificación del funcionamiento de la misma.

La optimización de procesos inicia con la implementación del prototipo de fresadora que será el inicio, práctica y preparación para obtener una máquina de tamaño real que le permitirá aumentar su portafolio de productos, servicios y además, le disminuye una gran cantidad de costos ociosos que se generan cuando se produce manualmente. El prototipo a implementar es lo suficientemente eficiente y al mismo tiempo le generará una mejor precisión de la manufactura y aumento de la productividad a la empresa.

Palabras claves: fresadora CNC portable, diseño, programación, eficiencia, productos y servicios.

ABSTRACT.

The aim of the application work is to build a prototype of a portable CNC milling machine to improve productivity in the company PedriTorno Workshop in Agustín Codazzi - Cesar, Colombia, therefore, with this work we intend to make the design step by step through the use of a computerized machine software that allows to solve the production needs presented in the company selected for the case study.

This work was divided into the basic design of the machine, the basic components and functions of the same through the application of the micros controllers, the computerized programming has been explained step by step. Then the mechanical design of the portable CNC milling machine and each of the calculations used for the development of the design will be detailed. There will also be a simulation of the construction of process and verification of its operation is also made.

The optimization of implementation processes with the implementation of the prototype of the milling machine that was the beginning, the practice and the preparation to obtain a machine of real size that allowed it to increase its portfolio of products, services and in addition, the decrease of a large amount of idle costs that are generated when it is produced manually. The prototype can be used as well as possible and at the same time will generate a better precision of productivity and increase productivity to the company.

Key words: portable CNC milling machine, design, programming, efficiency, products and services.

INTRODUCCIÓN.

Dado el avance tecnológico de equipos de trabajo que en la actualidad expresa una industria cada vez más competitiva, las empresas industriales e incluso hasta las mismas microempresas se ven en la necesidad de adquirir maquinaria y equipos más avanzados que les permitan estar en la línea de competencia con respecto a otras organizaciones de su misma denominación. Maquinaria y equipos aptos para que la producción pueda ser directamente proporcional a la demanda o mucho mayor a la misma, además de que facilite y agilice los procesos laborales y de seguridad industrial que embargan a los colaboradores.

De ahí que el objeto principal de este trabajo y con un espíritu de tecnólogos, enfocados en la industria, se realiza un “Un prototipo de fresadora CNC portable para mejorar la productividad en la empresa Taller PedriTorno ubicada en Agustín Codazzi – Cesar, Colombia” o a pequeñas empresas, que tenga similares características a las máquinas automáticas que se encuentran en el mercado nacional e internacional. Este proyecto se realiza en el marco del proyecto de grado para acceder al título de Ingeniero en Mecatrónica.

elementales de procesos metalmecánicos y optimice el manejo del espacio donde se requiera trabajar.

Figura 1. Máquinas-herramienta del Taller PEDRI-TORNO.



Fuente: elaboración propia realizada en Taller PedriTorno, Primera imagen Taladro de árbol para realización de fresado y prensa, segunda imagen torno para realización de desgaste.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Por tal motivo y con un espíritu de profesionales y mirando el sector metalmeccánico, se ve la necesidad de desarrollar innovación la cual se verá favorecido por el acceso económico a un equipo que cumple con las características para llevar a cabo procesos de manufactura en esas pequeñas industrias que por sus recursos económicos no tienen el acceso a estos costosos equipos para su desarrollo industrial, el problema que nos embarga en este trabajo es la construcción real de un prototipo de una fresadora CNC portable para mejorar la productividad en la empresa Taller PedriTorno ubicada en la carrera 18 # 27 - 05 en Agustín Codazzi – Cesar y así que facilite la ejecución de su actividad económica y de los posibles inconvenientes que se pueden presentar en los procesos metalmeccánicos, y que optimice el manejo del espacio donde se requiera trabajar.

3. JUSTIFICACIÓN.

A partir del inicio de las máquinas herramientas CNC, éstas han sido de gran importancia en los procesos productivos manufactureros industriales y dado la solución más eficiente para la elaboración de piezas a gran demanda en la industria. Ya que vienen mostrando a nivel mundial que empresas que no se tecnifican y modifican su estructura tecnológica, están condenadas al fracaso.

Queremos mostrar a muchas pequeñas empresas una posibilidad para que a través de esta herramienta puedan mejorar su productividad a un bajo costo gracias a su alta precisión y a su ligereza en fabricación de piezas, incluso en industrias de mayor envergadura o pequeños talleres en donde se está elaborando este proyecto en el cual es una empresa legalmente constituida por su propietario Pedro De la Hoz Collazos y cuyo nombre corresponde a “Taller PedriTorno.” por el auge de cultivo de palmas en la zona, ha sido pionera desde los años 60’s en la fabricación, remanufacturación y diseño de piezas industriales, aportando grande facilidad al campo agroindustrial.

Figura 2. Máquina-herramienta (Fresadora) averiada.



Fuente: elaboración propia tomada en Taller PedriTorno.

Nuestra propuesta trata de mejorar algunas dificultades que presentan las pequeñas empresas de este país en la búsqueda de la competitividad y el posicionamiento en el mercado de un país que va en vía de desarrollo, una de las alternativas importantes es la simulación de la construcción de estos proyectos ya que genera una gran ayuda al personal.

Ahora bien, se realizó una simulación a través de un diseño de la construcción de un prototipo de fresadora CNC portable, que nos acerque mucho a la realidad donde se garantice una alta demanda de una gran precisión a la hora de realizar procesos de manufacturación a escala, además se mejora los espacios de trabajo dada su estructura portable y robusta. Actualmente la Ingeniería en Mecatrónica tiene la idea de elaborar estos diseños que estaría conformado por un conjunto de planos de elementos mecánicos, controles y electrónicos, que permiten un avance óptimo en el proceso de manufactura, reduciendo tiempos de ejecución o costos, garantizando la funcionalidad y la eficiencia en los procesos productivos, además que minimice los riesgos de accidentes laborales para los colaboradores. Es aquí donde este diseño del prototipo de fresadora CNC se hace imperante, ya que corresponde a una herramienta facilitadora de la rapidez en maquinados de piezas que exigen alta precisión, la reducción o eliminación de tiempos muertos y simultáneamente evita riesgos en accidentalidad de trabajadores por manipulación del sistema.

Finalmente, este esbozo puede servir como antecedente para futuros proyectos en los que se intenten mejorar las condiciones laborales de una empresa u optimizar los espacios de trabajo y la eficiencia de los procesos que se llevan a cabo en el sector de manufactura avanzada.

4. OBJETIVOS.

4.1. Objetivo general.

Diseñar un prototipo de fresadora CNC portable para mejorar la productividad en la empresa Taller PedriTorno ubicada en Agustín Codazzi - Cesar, Colombia.

4.2. Objetivos específicos.

- Diseñar un prototipo de fresadora CNC de acuerdo con un esquema que le permita ser portable para la empresa Taller PedriTorno ubicada en Agustín Codazzi - Cesar, Colombia.
- Desarrollar un programa que cumpla con la función de transmitir señales a los actuadores que se emplea en el prototipo de fresadora CNC portable para que realice un trabajo automatizado.
- Acoplar las diferentes herramientas de software desarrolladas y adquiridas para generar una respuesta adecuada de la fresadora CNC.
- Diseñar una interfaz gráfica para el control de los motores a emplear de acuerdo a los 3 ejes establecidos en el prototipo de fresadora CNC portable.

5. MARCO REFERENCIAL.

5.1. Antecedentes.

El control numérico computarizado tiene su origen ante la necesidad de buscar una herramienta capaz de mecanizar con precisión y una buena repetitividad figuras geoméricamente complejas. Fue desarrollado a finales de 1940 y principios de 1950 por John T. Parsons en colaboración con el MIT (Massachusetts Institute of Technology). El sistema mediante el cual se realizaba los movimientos de la máquina herramienta recibió el nombre de control numérico (CN) y fue utilizado para la fabricación de repuestos para aviones que eran cada vez más complejos y requerían de un nivel de precisión que los operadores humanos no podían lograr¹.

En 1960 el MIT (Instituto Tecnológico de Massachus) desarrolló el Control Adaptable que definido bajo el término de Control Numérico Auto regulable y posteriormente en 1968 se llevaron a cabo los primeros ensayos de Control Numérico Directo (DNC). En 1970, se incorpora el microcomputador al control NC perfeccionándolo hasta llegar a ser CNC, controlado en su totalidad por una computadora. Desde al año 1972 las maquinas CNC se han desarrollado simultáneamente a las computadoras haciéndolas más confiables y fáciles de manejar².

5.2. Marco conceptual.

A continuación, serán descritos de manera detallada algunos conceptos clave para el desarrollo de este proyecto, en estricto apego a la terminología, hay una diferencia en las abreviaturas CN y CNC. El termino CN hace referencia a la tecnología del control numérico antiguo, en cambio, la abreviatura CNC se refiere

¹ GROOVER, Mikell P.; “Fundamentos de Manufactura Moderna”; tercera edición; México; 2007; p. 888-889

² NESSIER, F.; “Introducción a la programación y programación de máquinas CNC”, Universidad Tecnológica Nacional; Argentina.

a lo más nuevo en la tecnología de Control Numérico Computarizado. Ambos sistemas desarrollan la misma tarea, es decir, que manipulan los datos con el propósito de maquinar la pieza de trabajo. En ambos casos, el diseño interno del sistema de control contiene las instrucciones lógicas que procesan los datos³.

El control numérico (CN) usa una función lógica fija que está incorporada y conectada permanentemente dentro de la unidad de control. Estas funciones no pueden ser cambiadas por un programador. El CNC en cambio incorpora una microcomputadora que es una parte integral del control de una máquina. La microcomputadora contiene los registros de memoria almacenados en una variedad de rutinas que son capaces de manipular las funciones lógicas. Esto significa que el programador o el operador pueden cambiar el programa en el propio controlador de la máquina con resultados instantáneos.

En este proyecto se implementará un código similar al del lenguaje de Máquina (Código G) para el prototipo de máquina herramienta que se está realizando, en la cual está implementada para un fácil manejo. Más adelante se suministrará la información de dicho código, manejo del programa e interfaz para el usuario. Por lo tanto se hablará sobre el manejo de los códigos que son utilizados en las máquinas herramientas de nivel industrial ya que es un proyecto para mejorar la productividad de las Pyme's en el cual se hacen investigaciones detalladas.

La máquina recibe órdenes mediante códigos numéricos (G-Code) que tienen una secuencia lógica y que finalmente se convierten en el programa de maquinado. El lenguaje del código G es un lenguaje de máquina basado en el comando de máquina alfa numérico ASCII, que el controlador interpreta en movimientos discretos.

Entre los diferentes controladores que se pueden encontrar en el mercado existen algunas diferencias generadas por la gran variedad de modelos, inclusive en un mismo fabricante. Para poder conocer el funcionamiento de un CNC, es importante conocer las diferencias y similitudes que muestran sus controladores, así como también los estándares que se utilizan para su programación, que

³ SMID, Peter; "A Comprehensive Guide To Practical CNC Programming, CNC Programming HandBook"; Second Edition; New York; 2003; p. 1-2.

normalmente según son los que a continuación se mencionan⁴: ISO 6983 (International Standardization Organization) y la EIA RS274 (Electronic Industries Association). Así pues, los diseños estarán enfocados a la elaboración del CNC controlado por arduino.

En la elaboración de esta tesis de grado, Arduino se entenderá como una placa de hardware libre, que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra que permiten conectar diferentes sensores y actuadores de forma muy sencilla. Cuenta con un lenguaje de programación libre, que se entiende en cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones que pueden ser llamadas por máquinas.

El Módulo L298N es un motor driver con un doble puente H que nos permitirá manejar dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar de entre 5V y 35V, hasta 2 Amperios, controlando la velocidad y el sentido de giro de nuestros motores. Con este módulo y un Arduino se puede construir varios proyectos de robótica, incluyendo proyectos de máquinas CNC, Brazos robóticos, coches de carreras, entre muchos más proyectos.

Un Driver o controlador, es un programa que controla un dispositivo. Cada dispositivo, ya sea una impresora, un teclado, etc., debe tener un programa controlador. Muchos controladores, como el controlador del teclado, vienen con el sistema operativo.

De otro lado, G-CODE, es el nombre que habitualmente recibe el lenguaje de programación más usado en Control numérico (CNC), el cual posee múltiples implementaciones. Usado principalmente en automatización, forma parte de la ingeniería asistida por computadora. Al G-code se le llama en ciertas ocasiones lenguaje de programación G.

⁴ AGUINAGA, Álvaro; “Integración CAD-CAM-CIM”; Primera Edición; Escuela Politécnica Nacional; Ecuador; 2013; p. 15.

5.3. Marco teórico.

las Pyme's son reconocidas por la coordinación de variables que buscan producir y vender algún bien o servicio, apalancándose de las diversas áreas funcionales internas, entre las que se destacan, diseño, producción, mantenimiento, ventas y otras. El esquema de operación empresarial Pyme ha sido implementado en todas las economías, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, destacándose el potencial de éstas en los siguientes parámetros:

- La flexibilidad del cambio, en ajustarse a las condiciones de mercado constantemente.
- Fomentar la innovación a través del desarrollo de nuevos artefactos que permiten la creación de nuevos canales de investigación y de actividades empresariales.
- La capacidad de absorción de la mano de obra y del personal que actualmente está capacitándose para mejorar los procesos de una empresa.

Por lo anterior, será necesario aclarar la clasificación de las empresas en Colombia. El sector empresarial está clasificado en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, esta clasificación está reglamentada en la Ley 590 de 2000 y sus modificaciones (Ley 905 de 2004), conocida como la Ley Mipyme's. El término Pyme hace referencia al grupo de empresas pequeñas y medianas con activos totales superiores a 500 SMMLV y hasta 30.000 SMMLV*. (Bancoldex, s.f.)

A su vez es posible ser clasificada como pyme por el número de empleados o de activos, discriminado en la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación de las empresas.

Clasificación	Número de trabajadores	Activos (\$) SMMLV
Micro	<10	<500

Pequeña	10 – 50	501 – 5001
Mediana	50 – 199	5001 - 15000

Fuente: elaboración propia de acuerdo a (Business Colombia 2015)

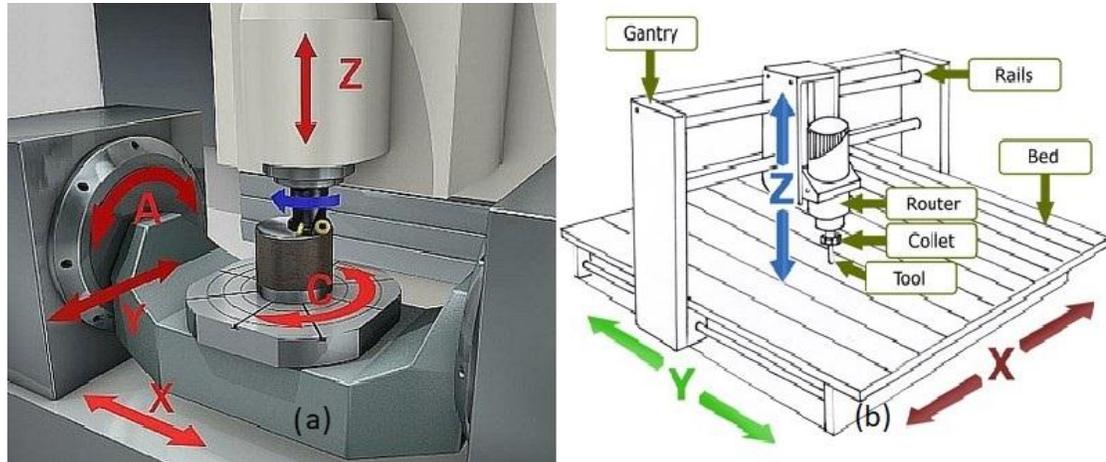
Es útil tener ésta información detallada, porque el presente informe está enfocado en el desarrollo de un prototipo de fresadora CNC portable para mejorar la productividad en pyme's industriales, siendo así, se detalla a quien va dirigido principalmente la información.

5.3.1. Máquinas de control numérico computarizado CNC.

La tecnología CNC permite controlar de forma computarizada la posición de una herramienta que está montada en una máquina, la manera de desplazarse de un punto a otro, su velocidad, profundidad de corte, avance y algunos parámetros más.

La clasificación de las maquinas CNC se da de acuerdo al número de ejes o grados de libertad. El movimiento de cada eje se efectúa a través de movimientos tanto del soporte de la pieza como de la herramienta. Debido a la variación de la configuración de los ejes, un mismo número de estos en diferentes maquinas no asegura que las secuencias de los movimientos para llevar a cabo una operación sean iguales. En la figura 3 se encuentra la representación de una maquina CNC de cinco ejes (a) y otra de tres ejes (b).

Figura 3. Esquema de maquina CNC de cinco ejes (a) y tres ejes (b).



Fuente: tomadas de (a) Sandvik coromant (Coromant s.f.), (b) ATOM Electronic Lab (ATOM 2016)

5.3.2. Programación CNC.

En este proyecto se implementara un código similar al lenguaje de maquina (Código G) para el prototipo de la máquina herramienta que se está realizando. Dicho cual está hecho en código libre de Aurdino y aplicado en una interfaz estudiantil llamada Matlab esto se implementa a la comunicación serial que existe entre estos dos software. Este código nuevo es aplicado por un algoritmo de control punto a punto o dicho de otra forma de posicionamiento, esto es para reducir los tiempos muertos que se pueden establecer en la operación de maquinado, en un futuro este programa será mejorado al igual que su interfaz para que sea más llamativa para el usuario, también se aplicara la programación de código G a nivel de las maquinas industriales para que este proyecto pueda de lucha en el sector comercial-industrial. A continuación se dará información sobre la programación de la mayoría de las maquinas herramientas CNC.

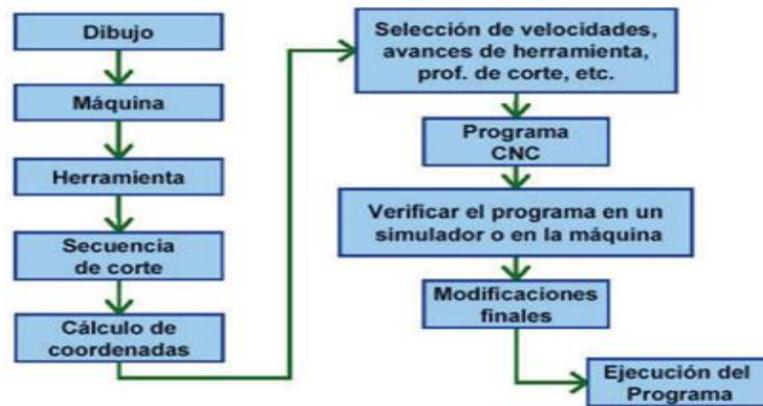
La programación de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G y M. Un programa de este tipo es una lista secuencial de instrucciones de maquinado que serán ejecutadas por la maquina CNC. A las instrucciones se les conoce como

CÓDIGO de CNC, las cuales deben contener toda la información requerida para lograr el maquinado de la pieza. Las maquinas típicas que son controladas con los códigos G y M son fresadoras, cortadoras, tornos e impresoras 3D.

Si bien en el mundo existen aún diferentes dialectos de programación con códigos G y M, se dio un gran paso a delante a través de la estandarización que promovió la ISO. Esta estandarización fue adoptada por la totalidad de los fabricantes serios de CNC y permite utilizar los mismos programas en distintas maquinas CNC de manera directa o con adaptaciones menores.

Las funciones de movimiento de la maquina como son, por ejemplo: posicionamiento rápido, avance lineal, avance radial, pausa o ciclo, llevan lo que se denominada códigos generales (G). Mientras que las funciones misceláneas como encendido y paro del husillo, cambian de herramienta, refrigerante llevan los denominados códigos misceláneos (M).

Figura 4. Flujo de procesamiento de una maquina CNC.



Fuente: elaboración tomada de Flujo de procesamiento de una máquina CNC. (A. E. Aguinaga 2013)

5.3.3. Programación de control numérico.

El código G es un lenguaje de programación CNC mediante el cual se dice que hacer a las máquinas herramientas como son: fresadoras, tornos, cortadoras, impresoras 3D, etc. Un ejemplo de código G es:

N10 G90 G21 y N15 G01 X4 Y2 F30

Esto traducido significa que en la línea 10 del programa se va realizar todas las medidas de acuerdo a las coordenadas del punto cero y con medidas en milímetros, en la línea 15 del programa realice un corte con un avance de 30 mm/min en el eje X 4 mm y en el eje Y 2 mm. El programa es un código de instrucciones secuenciales necesarias para el mecanizado y a ser ejecutado por la máquina CNC. Para la programación se puede emplear dos métodos: manual y automática.

En la programación manual, el programa lo ingresa manualmente el operario de la máquina en forma de códigos, ya sea G, M, F, S y T.

- Códigos G: Significa geometría de la trayectoria de la herramienta. El código G lleva a letra G seguida por números desde el 0 al 99, en el Anexo 1 se encuentra indicada los códigos G que se usan en las maquinas CNC.
- Códigos M: Su significado es Misceláneos se utilizan para funciones auxiliares como prender la herramienta. Este código lleva la letra M seguida por números desde el 0 al 99, en el Anexo 2 se encuentra indicada los códigos M que se usan en las maquinas CNC.
- Código S: Significa velocidad, mediante el cual se programa la velocidad de la herramienta en rpm. Este código lleva la letra S seguida del valor de las revoluciones.
- Código F: Significa alimentación de mecanizado, es decir la velocidad de movimiento de los ejes de la máquina. Este código lleva la letra F seguida del valor del avance de mecanizado.
- Código T: Significa herramienta de trabajo, permite seleccionar con que herramienta se va a trabajar. Este código lleva la letra T seguida del número de la herramienta.

Mientras que, en la programación automática, el ordenador envía la información digital a la máquina. Este método se conoce como CAD/CAM, Programación Asistida por Computador.

5.3.4. Estructura de un programa CNC.

Un programa por lo general tiene cuatro secciones de programación, para desarrollarlas en orden secuencial y cada línea (también llamadas bloque) consta de la numeración respectiva (N10) que va de 10 en 10 o según el criterio del programador, la numeración debe ser siempre creciente, seguido de los códigos G que es la instrucción de movimiento, todas estas estructuras se basa en la norma DIN 66025. Estos programas están compuestos por bloques sucesivos, todos ellos deben tener una letra y números identificatorios y cada uno de estos bloques es una instrucción para el control de la máquina CNC.

Figura 5. Estructura de bloques para programación CNC.



Fuente: elaboración propia basada de programación automática de Maquinas CNC. (Castillo R. 2008).

No necesariamente deben estar presentes todos los ítems, cada uno de éstos es una instrucción para el control, se puede programar en sistema métrico (mm) o en pulgadas.

Figura 6. Estructura del bloque de programación CNC.

Formato. N20 G02 X_Y_Z_I_J_K_B_R_F_H_;

Fuente: elaboración propia.

Dentro del programa ciertos códigos G permanecen activos mientras otro código G lo sobrescriba y reciben el nombre de comandos modales, esto es para que el sistema del control de la maquina CNC no se descontrole cuando está realizando un trabajo en específico como fresar o cambiar una herramienta de trabajo.

Los bloques condicionales son ejecutados o no en función de la presencia de la presencia de una señal externa al programa, estos sirven para mantenimiento de inspecciones del trabajo como programar paradas, cambio de herramientas, etc.

Figura 7. Fases del programa CNC.



Fuente: elaboración propia basada en Integración CAD-CAM-CIM.

5.3.5. Integración CIM.

Las técnicas de diseño con computador han experimentado un desarrollo muy notable en estos últimos años, siendo fundamentales durante el proceso de diseño y fabricación de un producto. En efecto, cuando éstas técnicas se las ejecuta en forma completa e integrada el proceso se vuelve realmente muy efectivo.

Precisamente, la Manufactura integrada por computador (CIM por sus siglas en inglés) establece el uso de la computadora para el ajuste de una manera eficiente y efectiva de los diferentes pasos que están interrelacionados en el desarrollo de productos manufacturados. Este sistema involucra un conjunto de actividades que inician a través del conocimiento sobre la necesidad de un producto; la proyección, el diseño y su ejecución; marketing y soporte del producto terminado. Todos los procesos desarrollados en estas actividades usan datos, que pueden ser gráficos, numéricos o textuales. El ordenador, es la herramienta más importante en cuanto en manejo de datos, que da la posibilidad real de juntar todas las operaciones fragmentadas de manufactura en un sistema operativo único. Este involucramiento es conocido como manufactura integrada por computador⁵.

A pesar de los beneficios de que se sabe positivamente que el sistema CIM aporta incuantificables beneficios de los cuales contribuyen mucho a la ingeniería, en la cual se encuentran las mejoras en la productividad, mayor rapidez en la introducción o modificación de productos y una mejora intercambiable de los trabajos específicos. Tendiendo así control gerencial de los resultados de la accesibilidad a la información y la implementación de sistemas computacionales, reducción de tiempos perdidos para tener resultados de la eficiencia en la integración de dicha información, gran flexibilidad en los cambios requeridos y mayor calidad en la consistencia de la manufactura.

Para las etapas de diseño y manufactura del producto, un sistema CIM maneja los siguientes elementos integrados a través de una base de datos por computadora:

- Manufactura asistida por computadora (CAM).

⁵ AGUINAGA Álvaro; “Integración CAD-CAM-CIM”, primera edición; Escuela Politécnica Nacional; Ecuador; 2013; p. 4

- Tecnología de grupos (Group Technology).
- Robótica.
- Diseño asistido por computadora (CAD).
- Planeación de recursos de fabricación (MRP).
- Ingeniería asistida por computadora (CAE).

5.3.6. Sistema CAD.

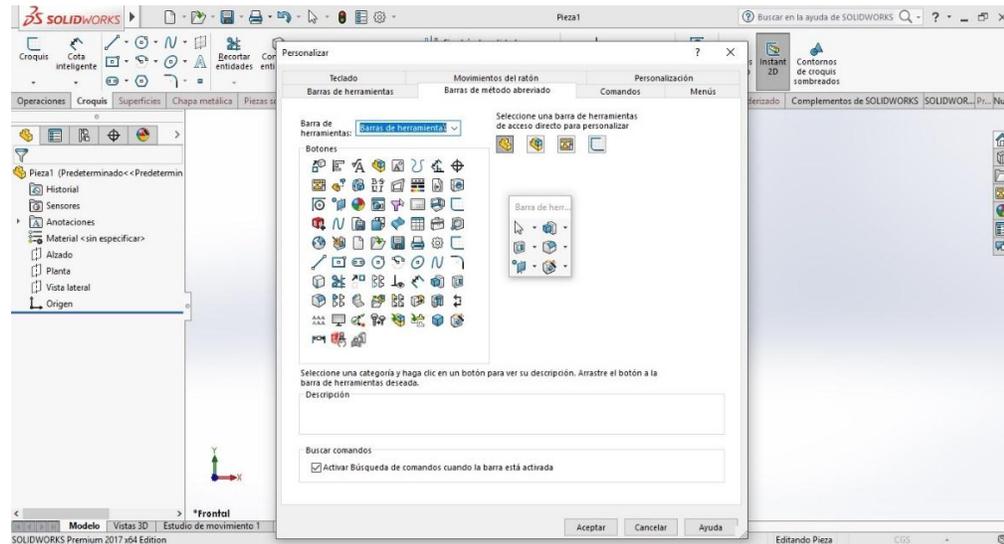
El diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en ingles), se trata de la tecnología implicada en el uso de ordenadores para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño, así como para la planificación, gestión y control de las operaciones de una empresa mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción.

En los años sesenta inició como un sistema de sustitución de los tableros de dibujo, permitiendo ganar tiempo en la generación de planos. Progresivamente ha ido expandiendo su campo utilitario de aplicación y sus beneficios, hasta convertirse en una potente herramienta que atiende básicamente las tareas relacionadas con el diseño; tales como el dibujo técnico y su documentación. Entre estos dos extremos se encuentran herramientas de modelado y análisis de tolerancia, cálculo de propiedades físicas (masa, volumen, medidas, etc.), modelado y análisis de elementos finitos y ensamblado, además admite ejecutar tareas adicionales de presentación y análisis del diseño como son simular su funcionamiento antes de su fabricación, verificar que no existe interferencias en los movimientos relativos de componentes, verificar si un proyecto mecánico o eléctrico funciona tal como se planifico, comprobar si una estructura es capaz de soportar una determinada carga e incluso el movimiento de un fluido en un determinado molde de fundición o inyección de plástico.

Los sistemas CAD se dividen principalmente en dos tipos: los modeladores en tres dimensiones (3D) y el software de dibujo en dos dimensiones (2D). Las herramientas utilizadas en dibujo 2D se fundamentan en formas geométricas

vectoriales como arcos, líneas, puntos, etc. Estas permiten operar mediante una interfaz gráfica, como se muestra en la figura 8. Mientras que los modeladores 3D viabilizan la definición de los objetos de forma espacial añadiendo superficies y sólidos.

Figura 8. Cuadro de Herramientas 2D de software CAD.



Fuente: elaboración propia realizada en SolidWorks 2017.

Como se ha mencionado anteriormente el sistema CAD permite generar u obtener de un objeto su geometría, la misma que será utilizada en posteriores etapas en las que se ejecuten actividades de programación en ingeniería. Así se habla también de Ingeniería Asistida por computador (CAE por siglas en inglés) al referirse a las tareas de evaluación, análisis, optimización y simulación efectuadas durante todo el ciclo de vida del bien producido.

Las aplicaciones del CAD se dividen en tres tipos principales, disciplina, industria y función. Según la función; puede aplicarse para diseño, análisis, documentación, simulación, control de calidad, entre otras. Según la disciplina, se aplica a mecánica, estructuras, electrónica, arquitectura, ingeniería civil, entre otras. Y finalmente según la industria, se utiliza en el sector automotriz, aeroespacial, electrónica, mecánica en general, etc.

En la actualidad existen diferentes métodos para ingreso de la información gráfica y generación de archivos CAD⁶.

- Planos elaborados con cada una de las entidades gráficas.
- Medición e ingreso detallado de la información.
- Digitalización (mesa de medición de coordenadas CMM).
- Scanner laser o de visión.

5.3.7. Sistema CAM.

Los sistemas CAM o sistemas de fabricación asistida por computador, tratan sobre el manejo de aplicaciones de software computacional de control numérico (NC) que permite elaborar detalladamente instrucciones (Código G) que manejan las máquinas herramientas en la fase directa de manufactura de las partes controladas numéricamente por computadora (CNC), en este caso es un puente entre el modelo CAD desde donde comienza y el lenguaje de programación de las máquinas con una intervención mínima del operario para generar las trayectorias de la herramienta que constituirá el programa CNC, permitiendo de esta manera simular la ejecución de éstos en el computador para evitar posibles errores y colisiones, aumentando la productividad de la máquina y la calidad de las piezas mecanizadas.

Una definición de CAM incluye el manejo de software para la preparación de modelos, establecimiento de plano de manufactura, sistemas de planificación del proceso, diseño de herramientas, diseño asistido por computadora, programación de la inspección de la máquina de medición (CMM), control de calidad, administración, programación NC, simulación de máquinas de herramientas o pos-procesamiento⁷. Se pueden utilizar los sistemas CAM para diferentes tecnologías que normalmente están disponibles por módulos: fresado, torneado, electro

⁶ PÁRAMO G. “Aplicaciones de los sistemas CAD/CAM en la manufactura moderna”. Recuperado de: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidadeafit/article/view/1110> (octubre 2016)

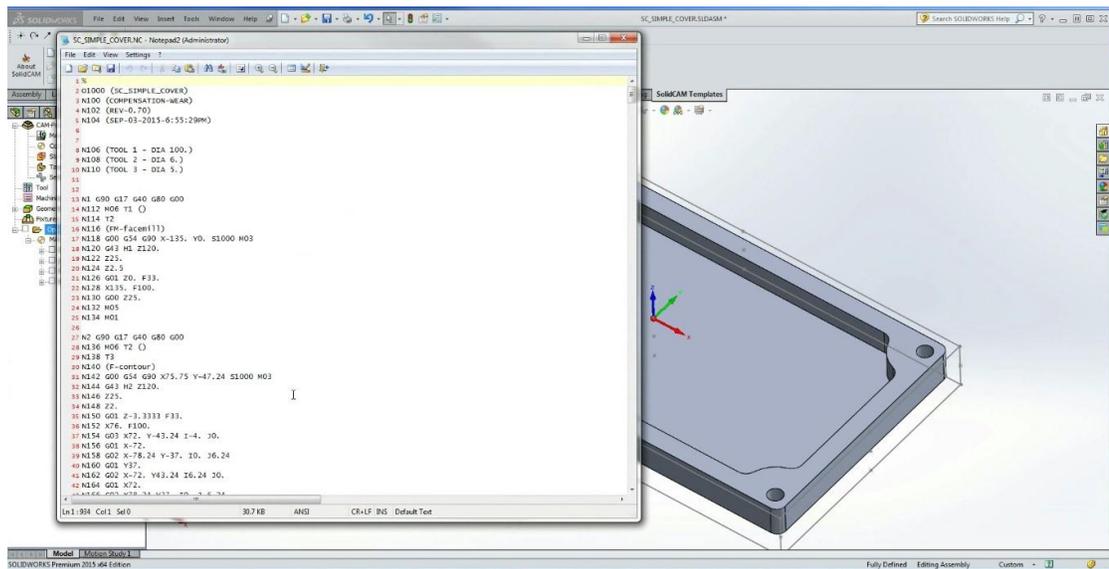
⁷ SIEMENS PML Software. Recuperado de http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cam.shtml (octubre 2016)

erosionado, corte por láser, punzonado, oxicorte, corte por plasma, soldadura automática, etc.

Debido a sus ventajas, se suele combinar el diseño asistido por computadora y la fabricación asistida por computadora CAD/CAM. Esta combinación permite la transferencia de información desde el período de diseño hasta el período de fabricación de un producto, sin necesidad de volver a capturar manualmente los datos programados.

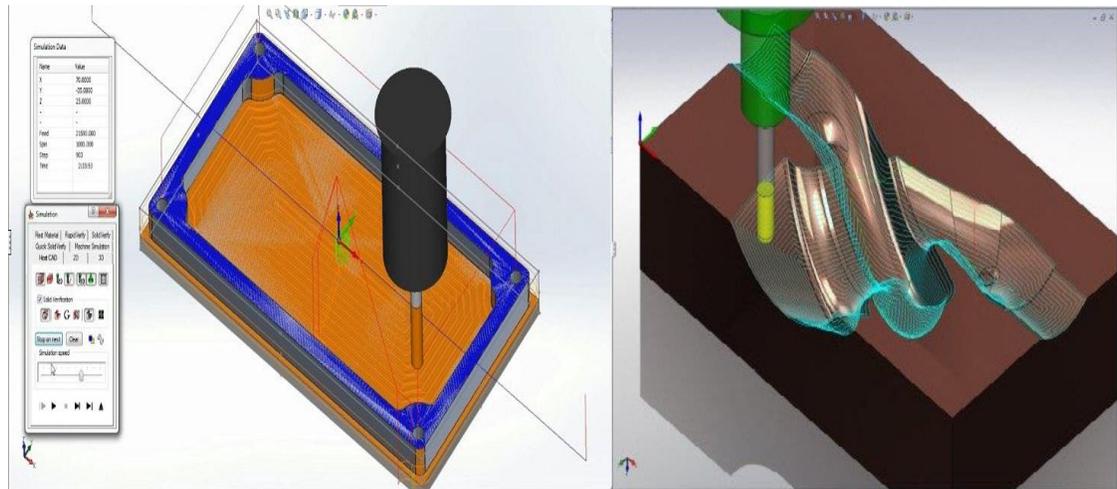
En las figuras 9 y 10 se presentan algunos ejemplos del manejo del software CAM.

Figura 9. Generación de códigos g y simulación de trayectoria en SolidCAM.



Fuente: elaboración tomada de SOLIDSOLUTIONS SolidWorks. (iMachining 2015)

Figura 10. Pos-procesamientos y simulación de programación CN de SolidCAM.



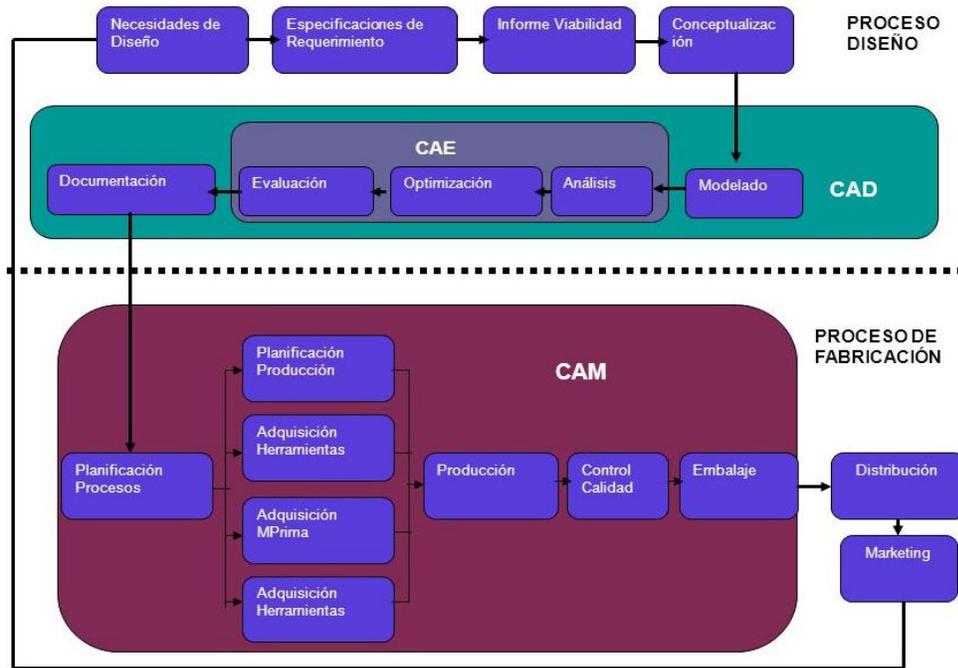
Fuente: elaboración tomada de SOLIDSOLUTIONS SolidWorks. (SolidWorks, iMachining y SolidCAM 2015)

5.3.8. CAD/CAM en el proceso de diseño y fabricación.

Como se ha mencionado, el CAD/CAM/CAE son tecnologías que intentan automatizar varias tareas del ciclo productivo y convertirlas en procesos más eficaces. En la figura 11 se puede visualizar la interacción de éstas tecnologías en un ciclo de producto típico.

Para convertir una idea o concepto en un producto, se ejecutan los siguientes procesos: diseño y fabricación. Dentro del proceso de diseño, a su vez, se puede dividir en dos nuevas etapas, la primera que es donde se origina el producto en el cual se busca la necesidad de él y la segunda donde se optimiza, verifica y evalúa el producto elaborado llamada análisis. Cuando estas etapas hayan sido completadas, se empieza con la fabricación en donde, primeramente, se planifican los procesos que se ejecutaran y los recursos a utilizar, para luego arrancar con la fabricación del producto que se vaya a implementar. Finalmente, antes de pasar a la fase de distribución y marketing se efectúa un control de calidad del producto terminado.

Figura 11. Ciclo de un producto típico.



Fuente: elaboración tomado de Dialnet (E. Aguinaga 2018)

La constante demanda de mercado que exige productos más baratos con excelente calidad y un ciclo de vida cada vez más corto, hace que sea necesaria la utilización de los computadores como herramientas que logren cumplir con estas exigencias. El uso de técnicas de CAD/CAM permite obtener una disminución de costos, de tiempo en el diseño y en la producción, así como también incrementos en la calidad del producto. Dichos factores son fundamentales en la industria actual.

Dentro del ciclo del producto detallado se incluyó un grupo de tareas organizadas; unas en proceso CAD y otras en CAM, las que, a su vez, son subconjuntos de otros procesos como son el diseño y fabricación respectivamente. Las herramientas requeridas para cada proceso se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 2. Herramientas CAM para el proceso de fabricación.

FASES DE FABRICACIÓN	HERRAMIENTAS CAM SOLICITADAS
Planificación de procesos	Análisis de costos, especificaciones de materiales y herramientas
Mecanizado de piezas	Programación de control numérico (CNC)
Inspección	Aplicaciones de inspección (CAE/CAD)
Ensamblaje	Simulación y programas para robots

Fuente: elaboración propia basado en curso de mecatrónica. (Ochoa 2006)

Tabla 3. Herramienta CAD para el proceso de diseño

FASES DE DISEÑO	HERRAMIENTAS CAD SOLICITADAS
Conceptualización del diseño	Herramientas de modelado geométrico
Modelado del diseño y simulación	Las anteriores junto con las herramientas de animación, ensamblaje y aplicaciones del modelado específicas
Análisis del diseño	Aplicaciones de análisis generales (Método de elementos finitos)
Optimización del diseño	Aplicaciones a medida y optimización estructural
Evaluación del diseño	Herramientas de acotación, tolerancia y listas de materiales

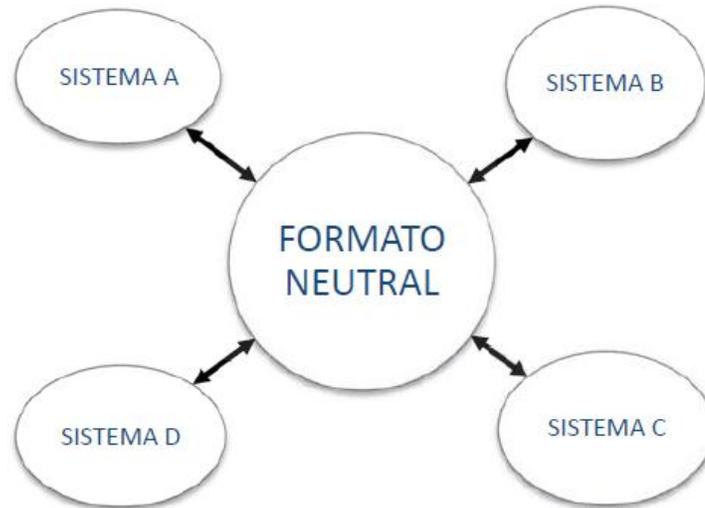
Fuente: elaboración propia basado en curso de mecatrónica. (Ochoa 2006)

5.3.9. Intercambio de datos CAD/CAM.

Debido al rápido crecimiento de programas CAD-CAM se tuvo que llegar a un acuerdo para estandarizar la información. La solución del intercambio de datos fue el pasar de un tipo de archivo que maneja un programa A, a un archivo de formato neutral que debe ser de un estándar internacional y después de este formato traducirlo al archivo que maneja el programa B, solo se necesita un programa que traduzca de formato neutral a su sistema de programación de la máquina, por eso

se llegó a un acuerdo internacional entre las distintas entidades de normalización de las cuales son: ISO (International Standard Organization), ANSI (American National Standard Institute) y DIN (Deutsches Institut für Normung). Se crearon los formatos IGES y STEP (ISO 10303), entre otros.

Figura 12. Intercambio de archivos CAD.



Fuente: elaboración tomado de Escuela Politécnica Nacional. (A. E. Aguinaga 2013)

5.3.10. Tipos de datos intercambiables.

Todo archivo CAD lleva una determinada información que comúnmente se requiere intercambiar de un software a otro. Como ya se ha mencionado, esto se logra guardando la información en un formato neutral, estos traductores requieren soportar todos los tipos posibles de entidades, almacenamiento compacto, compatibilidad con versiones anteriores y permitir intercambiar los cuatro tipos de datos principales que a continuación se cita⁸.

- Información del modelo geométrico
 - a. Geometría (dimensiones, coordenadas).

⁸ OCHOA O. (2006); Curso de Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/>, (octubre 2016)

- b. Topología (sólidos).
 - c. Características (tipos de línea, colores, etc.).
- Información gráfica
 - a. Imágenes sombreadas.
 - b. Texto, cotas, unidades, precisión, etc.
- Información de diseño
 - a. Masa, densidad, mallas FEM, etc.
- Información de manufacturación
 - a. Trayectoria de la herramienta.
 - b. Tolerancias
 - c. Planificación de procesos.
 - d. Lista de materiales, etc.

5.3.11. Formatos básicos neutrales.

En la actualidad los diferentes softwares CAD ofrecen una amplia selección de herramientas de intercambio de datos permitiendo guardar y admitir varios formatos de intercambio estándar neutros. Los principales y más populares formatos son los siguientes.

- Especificación de Intercambio de Gráficos Inicial (IGES).
- ISO 10303 – STEP AP203/AP214.
- Formato de Intercambio de Dibujos CAD (DXF).
- STL de prototipo rápido.
- Formato de intercambio liviano JT.

En el presente trabajo se ha utilizado los archivos en formato DXF para el diseño de la geometría ya que es soportado por la mayoría de programas CAD del mercado. A continuación, se presenta algunas definiciones de este tipo de archivo neutral.

5.3.12. Archivos DXF.

El formato DXF (acrónimo de las ingles Drawing Exchange Format), creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos DWG, usados por el programa AutoCAD, fue desarrollado por AutoDesk para describir de manera precisa un archivo de dibujo en un formato de archivo de texto. Los archivos DXF se organizan en secciones, que constan de registros a su vez compuestos o por un código de grupo o un elemento de datos. Cada sección comienza con un código de grupo 0 seguido por la cadena SECTION. A continuación, aparece un código de grupo 2 y una cadena que indica el nombre de la sección. Cada sección se compone de códigos de grupo y valores que definen sus elementos. Las secciones terminan con un 0 seguido de la cadena ENDSEC.

Un archivo DXF contiene las siguientes secciones:

- Sección de Cabecera (Header Section): Contiene la información general del dibujo. Cada parámetro tiene un nombre y un valor asociado.
- Sección de Clase (Classes Section): Posee la información de aplicaciones definidas, la cual está permanentemente fija en la jerarquía de clases.
- Sección de Tablas (Tables Section): Aquí se encontrará la descripción de los siguientes parámetros: tablas de tipo de línea, tabla de capas, tabla de tipo de letra, tabla de vistas, tabla UCS, tabla VPORT, tabla de DWGMGR.
- Sección de Bloques (Blocks Section): Contiene una entrada para cada una de las referencias a un bloque del dibujo, describiéndolos individualmente.
- Sección de Entidades (Entities Section): Esta sección es la más importante ya que contiene la información de las figuras como entidades y objetos gráficos. Presenta las diferentes coordenadas x, y, z del dibujo.
- Sección de Objetos (Objects Section): Contiene la información de objetos no gráficos del dibujo.

Tabla 4. Identificadores para la sección ENTIDADES de archivo DXF.

Identificador	Descripción
10	Coordenada X principal/inicial
11-18	Coordenadas X Auxiliares
20	Coordenada Y principal/inicial
21-28	Coordenadas Y Auxiliares
30	Coordenada Z principal/inicial
31-37	Coordenadas Z Auxiliares
39	Espesor de la entidad diferente de cero
40-48	Radio de arcos
50-58	Ángulos

Fuente: elaboración propia basado en documento web. (Ochoa 2006)

En la sección entidades, las coordenadas de las diferentes entidades se identifican mediante unos números identificadores que se muestran a continuación en la tabla 4. No se describen todas las secciones si se requiere ampliar información se puede consultar los documentos de AutoDesk en su página web⁹.

5.4. Teoría de la simulación.

Actualmente, la simulación es una poderosa técnica numérica para la resolución de problemas para conducir experimentos en una computadora, para sí ayudar a tomar decisiones. Sus orígenes están en la teoría de muestreo estadístico, matemáticos y análisis de sistemas físicos probabilísticos complejos, las cuales

⁹ AutoDesk, Knowledge Network. “Sobre la importación y la exportación de archivos DFX”. Recuperado de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/AutoCAD-Core/files/GUID-D4242737-58BB-47A5-9B0E-1E3DE7E7D647-htm.html>. (Agosto 2018)

son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de ellos en el mundo real a través de largos periodos de tiempo.

Las primeras referencias sobre la simulación se encuentran hacia el año 1940, cuando Von Neumann y Ullman trabajaron sobre la simulación del flujo de neutrones para la construcción de la bomba atómica. Esta investigación era secreta y le dieron un nombre en código: Monte Carlo. Este nombre se mantiene y durante mucho tiempo se usaba para hacer referencia a algunos esfuerzos en simulación¹⁰.

Una observación detallada del método que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia de ella. Las áreas de aplicación de la simulación son muy amplias y numerosas, alguna de ellas son:

- Análisis del impacto ambiental causado por diversas fuentes.
- Diseño de sistemas de manufactura.
- Diseño de sistemas de comunicaciones.
- Análisis de grandes equipos de cómputo.
- Análisis de un departamento dentro de una fábrica.
- Evaluación de sistemas tácticos o de defensa militar.
- Video Juegos.
- Arquitectura de construcción de edificios.
- Cine.

¹⁰ Licesio J. Rodríguez; “Simulación, Método de Montecarlo”, recuperado de: https://previa.uclm.es/profesorado/licesio/docencia/mcoi/tema4_guion.pdf, (Rodríguez 2011)

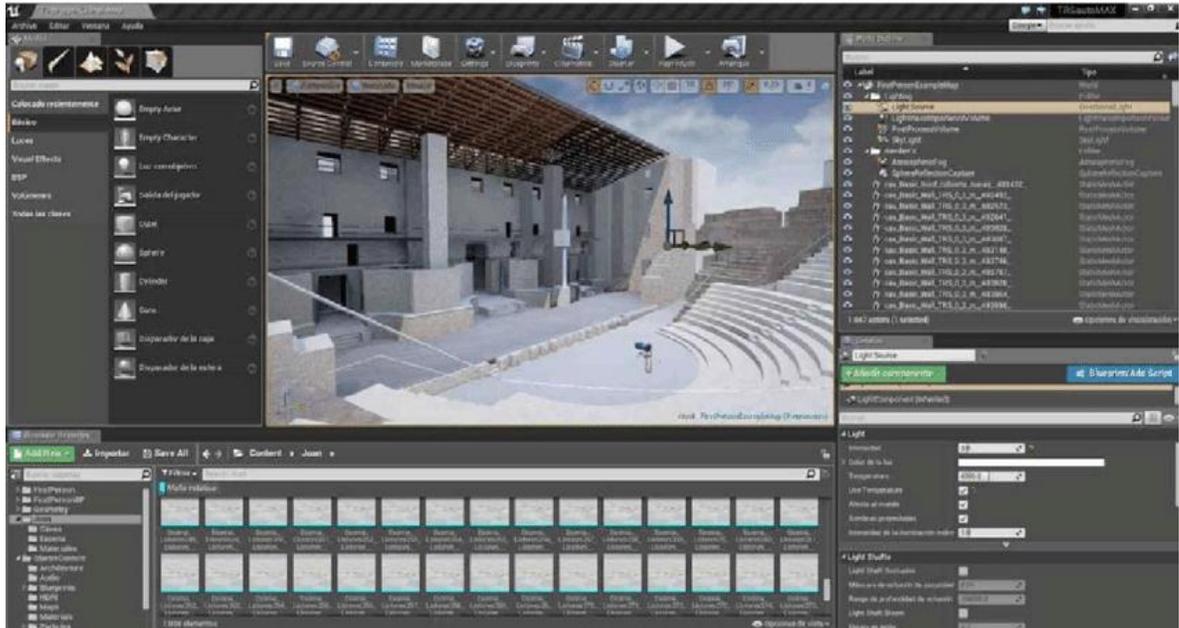
La simulación tiene su aplicación en un largo espacio de trabajo pues todo donde podamos realizar un diseño ahí estaremos aplicando una, ya que esta es una gran herramienta para ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo en algunos aspectos que llevarlos luego a la realidad nos causarían muchos errores costosos y peligrosos, los problemas reales están mal representados y no se presentan bien a una especificación precisa.

Según teorías sobre la realidad simulada es la proposición que dicha situación de la realidad podría ser una simulación de sí mismo, como propone René Descartes que prefigura de la hipótesis del dualismo mente-cuerpo que nos habla del genio maligno y Dios, en el cual creemos estar en la realidad cuando realmente estamos en un error, desde el punto de vista del hombre en la naturaleza, lo que nos trata de decir que es una hipótesis simulada en la cual se crea un método que implica un instrumento matemático de deducción pura que deriva de una razón absoluta proyectando así la idea del universo simulado.

En la actualidad los videos juegos están avanzando en gran escala para recrear la realidad en ellos, para que los humanos puedan cumplir sus hazañas o lo que ellos quieran realizar como en el caso de la película de Matrix, que se basa en una simulación de la vida real. Por otro lado está la compañía de Epic Games el cual usa un motor para realizar juegos llamada Unreal Engine, en donde se realizó la simulación de la construcción de este proyecto de realizando investigaciones de ello. En 1998 Epic Games sacó a la venta este desarrollador para agrandar las cifras de su compañía.

Unreal Engine es un motor de video juegos, pero últimamente los ya mencionados anteriormente como los arquitectos, simuladores, diseñadores, entre otros, han visto una herramienta muy poderosa en este software para realizar animaciones ya que dicho motor se encarga de cosas como renderear las gráficas en 2D y 3D, la Inteligencia artificial, detección de colisión, el manejo de memoria y visibilidad de piezas por iluminación por pixeles. A continuación se mostrará una imagen de la interfaz del programa en la cual se realizó una simulación del teatro romano de Sagunto Valencia de España

Figura 13. Procesado y programación en Unreal Engine.



Fuente: elaboración tomada de researchgate. (Gayón López 2016)

Es posible que el ser humano si sigue con la línea del desarrollo de la simulación cree una realidad simulada y una Inteligencia Artificial las cuales puedan recrear el mundo en que vivimos y los individuos que nos rodean, lo cual implica técnicamente que todos seamos una simulación de un juego creado por un ser supremo.

5.5. Precisión, repetitividad y resolución.

Estos son los parámetros más importantes de las Fresadoras CNC, en la cual define su calidad y eficiencia a la ejecutar un trabajo.

No obstante, son esenciales para seleccionar los instrumentos de medición adecuados para su aplicación. Si no selecciona los correctos, podría acabar pagando demasiado por su producto o su sistema de control puede que no tenga el suficiente rendimiento crítico.

5.5.1. Precisión.

Cualidad que caracteriza la aptitud de un instrumento de medida para dar indicaciones próximas al valor verdadero, teniendo en cuenta tanto los errores constantes como los errores aleatorios.

Las Fresadoras CNC, son capaces de producir maquinados que tienen una precisión con tolerancias de hasta 0.0025 a 0.005mm.

5.5.2. Repetitividad.

Se considera como: El grado de concordancia entre los resultados de mediciones de la misma magnitud, obtenidos con el mismo método, por el mismo operario, con los mismos instrumentos, en el mismo lugar y a intervalos de tiempo suficientemente cortos.

5.5.3. Resolución.

La resolución se refiere al valor mínimo en que está dividida la escala o valor del último dígito significativo que muestran los sistemas digitales.

Las Fresadoras CNC por tener las características de precisión y repetición tienen precios excesivamente altos.

5.6. Ventajas y desventajas de un sistema CNC.

Las principales áreas donde el sistema CNC conduce a una mejoría son¹¹:

- Reducción del tiempo de ajuste.
- Reducción del plazo de ejecución.
- Precisión y repetitividad.
- Contorno de formas complejas.
- Simplicidad y trabajo prolongado.
- Tiempo de corte equilibrado.
- Incremento de la productividad.
- Reducción en el riesgo personal.
- Portabilidad.

Mientras que las desventajas del uso de la maquina CNC son:

- La rentabilidad en pieza cuando se trata de grandes producciones. Para una cantidad menor a cinco piezas, solo es justificable su uso si su geometría es muy compleja y no pueda ser construida por maquinas herramientas convencionales.
- La inversión inicial es alta, así como también los costos de mantenimiento relación y accesorios.
- No elimina totalmente los errores. Los operadores pueden realizar alineaciones herradas provocando choques de la herramienta y falta de precisión.

¹¹ SMID, Peter; “CNC Programming Handbook. A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming”; segunda edición, Industrial Press Inc; New York; 2003; p. 1,2.

- Durante el ciclo de trabajo la herramienta puede sufrir desgaste irregular lo que genera falta de precisión.
- Las inversiones en las maquinas CNC conllevan a necesitar de menos empleados para llevar a cabo varias producciones.
- Falta de opciones o alternativas en caso de fallas.

6. ESTRUCTURA Y SISTEMA DE CONTROL.

En las máquinas CNC, se debe tomar en cuenta el tipo de máquina herramienta y el tipo de control que se debe emplear.

6.1. Sistemas de control.

Los sistemas de control, se aplican esencialmente para las máquinas. Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento establecido, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados¹².

6.1.1. Lazo abierto.

El control de lazo abierto es aquel proceso en el que la señal de entrada se ejecuta directamente, teniendo como salida una señal independiente de la entrada, es decir que la información transita en una sola dirección, por lo tanto, es un sistema no realimentado.

Figura 14. Sistema de control de lazo abierto.



Fuente: elaboración propia basado en Sistemas de Control Automático. (Kuo 7 edición)

¹² Leyva, J. (2009). “Introducción al sistema de control de procesos: presión, caudal, temperatura y nivel”. (Tesis Ing. Mecánico Electricista). Universidad Veracruzana. Xalapa, México.

6.1.2. Lazo cerrado.

El control de lazo cerrado es aquel proceso cuyo control depende de la señal de salida, es decir que la señal de salida se envía al sistema de control para corregir un error y hacer más eficiente el trabajo, por lo tanto, es un sistema realimentado. El control en lazo cerrado es recomendable cuando se requiera un desbastado con mayor fuerza de arrastre, es decir en un proceso complicado.

Figura 15. Sistema de control de lazo cerrado.



Fuente: elaboración propia basado en Sistemas de Control Automático. (Kuo 7 edición)

Un sistema de control de lazo abierto no recibe información acerca del estado de la máquina simplemente ejecuta una acción suponiendo de antemano cuales van a ser las consecuencias. Dada su sencillez el sistema de control de lazo cerrado va a ser la estructura llevada a cabo en este proyecto, pues son pocos los factores que pueden interferir en el libre desplazamiento de la transmisión.

6.2. Tipos de control según su función.

Según las funciones que realiza se nombra a continuación los siguientes tipos.

- Control punto a punto.
- Control paraxial.
- Control continuo.

6.2.1. Control punto a punto.

Es el más simple de los controles, en este se define los puntos donde tiene que trabajar la máquina herramienta, sin importar la trayectoria que siga para llegar a estos. El control punto a punto es empleado en trabajos de taladrado y soldadura por puntos y es más aplicado en las empresas industriales para el uso de huecos y cortes. En este tipo de control está basado este proyecto para sí dar movimiento por posiciones al prototipo de fresadora CNC portable.

Figura 16. Control punto a punto.



Fuente: elaboración tomada de 634 - Tecnología de Control. (Rolon, 634 - Tecnología de Control s.f.)

6.2.2. Control paraxial.

La diferencia del control punto a punto, en este tipo de control se puede controlar en forma precisa, la posición de la herramienta, la velocidad de trabajo y la trayectoria que sigue, durante el mecanizado de piezas, dependiendo de la dirección de cualquiera de los ejes.

Figura 17. Control paraxial.



Fuente: elaboración tomada de 634 - Tecnología de Control. (Rolon, 634 - Tecnología de Control s.f.)

6.2.3. Control continuo.

El control continuo llamado también control interpolar, es mucho más preciso que los controles anteriores y permite controlar los movimientos a distintas trayectorias y con diferentes velocidades de los tres ejes que forman parte de la máquina herramienta, es el control ideal para mecanizado 3D.

Figura 18. Control interpolar (continuo).



Fuente: elaboración tomada de 634 - Tecnología de Control. (Rolon, 634 - Tecnología de Control s.f.)

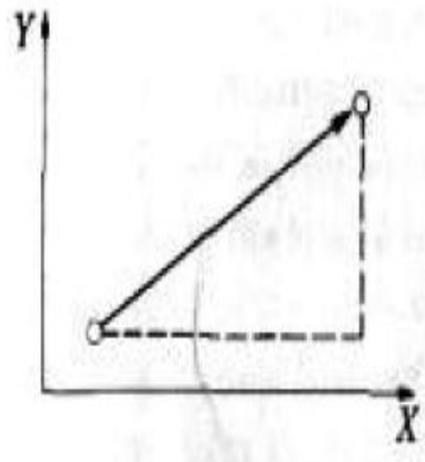
6.3. Interpolación.

Los ejes de la máquina herramienta basan sus desplazamientos en la interpolación lineal y circular. La interpolación es un método matemático a partir del cual se encuentra nuevos puntos a partir de otros puntos conocidos con anterioridad.

6.3.1. Interpolación lineal.

La interpolación lineal realiza un movimiento lineal calculando la posición intermedia entre dos puntos, siguiendo así un segmento rectilíneo. A medida que avanza el recorrido se corrigen los errores de desvío si existen, en cualquiera de los ejes. Es decir, la herramienta se mueve en línea recta desde que inicia hasta que termina, ya sea en los tres ejes o solamente en dos de ellos.

Figura 19. Interpolación lineal.

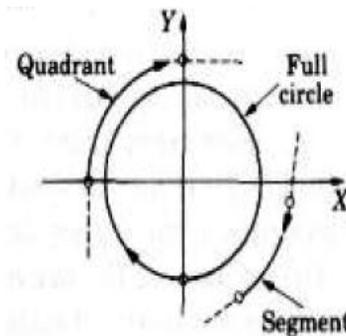


Fuente: elaboración tomada de Aula de Programación CNC. (García, Aula de Programación CNC s.f.)

6.3.2. Interpolación circular.

En la interpolación circular se realiza un movimiento circular, se calcula puntos intermedios entre dos puntos inicial y final siguiendo esencialmente la trayectoria de arco circular. A medida que avanza el recorrido se corrigen los errores de desvío que no sea circular, en cualquiera de los ejes.

Figura 20. Interpolación circular.



Fuente: elaboración tomada de Aula de Programación CNC. (García, Aula de Programación CNC s.f.)

7. COMPARACIÓN DE UTILIZACIÓN ENTRE MAQUINAS CONVENCIONALES Y CNC.

En la siguiente tabla hace una comparación entre los dos sistemas de mecanizado.

Tabla 5. Comparación MH convencional y MHCNC.

MÁQUINA HERRAMIENTA CONVENCIONAL	MÁQUINA HERRAMIENTA CNC
Un operario sólo puede manejar una sola máquina	Un operario puede operar varias máquinas
Es necesario consultar constantemente el plano	No es necesario consulta apenas el plano.
Se necesita una amplia experiencia	No es necesario una amplia experiencia
El operador tiene el control de profundidad, avance, etc.	El programa tiene todo el control de los parámetros de corte
Mecanizados imposibles de realizar.	Posibilidad de realizar prácticamente cualquier mecanizado

Fuente: elaboración tomada de Consejo Federal de Educación. (Consejo Federal de Educación 2011)

8. FRESADORA.

La utilización de máquinas fresadoras ha sido de vital importancia en el trabajo industrial y en los talleres metal-mecánico, puesto que permite fabricar piezas de mejor acabado tanto en calidad y presentación, así como en precisión.

La fresadora es una máquina provista de fresas que sirve para labrar metales. Una fresadora es utilizada para dar formas complicadas a piezas de diferentes materiales. Las fresadoras pueden efectuar diversos tipos de operaciones para el mecanizado de piezas.

Figura 21. Fresadora.



Fuente: elaboración tomada de Maquinaria10.com. (Maquinaria10.com s.f.)

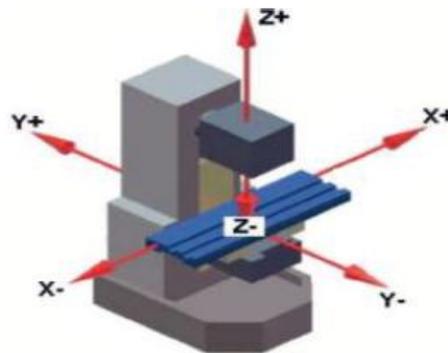
8.1. Ejes de la fresadora.

Las Maquinas herramientas CNC disponen de diferentes órganos de movimiento lineal (generalmente ejes), para poder programar el movimiento de dichos elementos se les asigna una letra, que será la que después se utilizará en la programación. Esta asignación de letras está normalizada y no puede ser cambiada en ningún caso. Los signos “+” y “-” no tienen un sentido matemático sino de dirección¹³.

En las fresadoras, la pieza a mecanizar se coloca sobre la mesa, la misma que se traslada en tres ejes, longitudinal, transversal y vertical.

- Longitudinal: Llamado eje Y, debido a que su desplazamiento lo realiza a lo largo de la máquina.
- Transversal: Llamado eje X. Éste eje se desplaza en forma transversal a la máquina.
- Vertical: Es llamado eje Z, éste desplaza la herramienta verticalmente dando la profundidad de corte a la pieza.

Figura 22. Desplazamiento de los ejes de la fresadora.



Fuente: elaboración tomada de Máquinas y Herramientas. (de Máquinas y Herramientas 2013)

¹³ Teruel Cruz, F. (2004). “En control numérico y programación: Sistemas de fabricación de máquinas automatizadas”. 2da. ed. Barcelona, España: Marcombo. Pp 1-3.

8.2. Cinemática de la fresadora.

La cadena cinemática de la fresadora estudia los movimientos de ésta y se distinguen dos tipos.

- **Movimiento de rotación:** El movimiento de rotación se le da al eje principal de la máquina, como las herramientas van caladas en este eje, son las revoluciones a las que podemos hacerlas girar. La máquina lleva una caja de cambios con una gama de velocidades no muy alta, generalmente comprendida entre 50 y 150 r.p.m.
- **Movimiento de Traslación:** Son los movimientos de los carros de la máquina, comprende los motores que generan dicho movimiento para trabajar con avances automáticos. Incorpora una caja con estos avances, los cuales podemos seleccionar por medio del cambio manual.
- **Caja de Cambios:** Llamada también caja de velocidades. Es la caja que contiene los trenes de engranajes y haciendo ensamblar unos con otros, se consiguen las distintas revoluciones a dar al eje de la máquina, esta lleva la herramienta con la cual se está trabajando. El cambio de revoluciones se realiza mediante palancas.
- **Caja de Avances:** Es la caja de cambios donde se seleccionan los distintos avances de los carros con el fin de desplazarlos de forma automática, consiguiendo así las velocidades de corte adecuadas al material a trabajar. Es una de las partes más importantes de la máquina, pues cuanto más amplia sea la gama de velocidades podremos ajustar mejor la velocidad de corte.

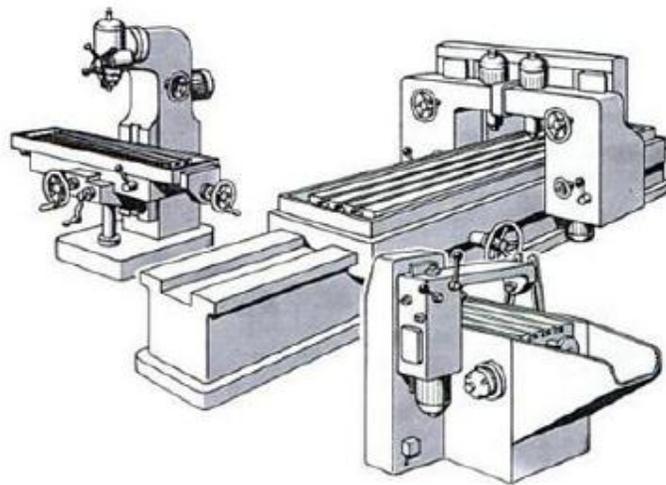
8.3. Clases de fresadoras.

Existe una clasificación de las fresadoras de acuerdo con el posicionamiento de la mesa como del husillo:

- **Fresadoras Horizontales:** Se las utiliza cuando el mecanizado que se requiere es cilíndrico
- **Fresadoras Verticales:** Se emplean cuando el fresado requerido es frontal.

- **Fresadoras Universales:** Se emplea en la mayoría de trabajos de mecanizado, debido a la facilidad de la mesa para girar hacia la derecha e izquierda, por ejemplo, el fresado de ranuras en espiral.
- **Máquinas de fresar Especiales:** Entre las fresadoras especiales podemos nombrar las siguientes: la fresadora paralela que es utilizada para trabajar piezas pesadas, la fresadora de planear empleada para trabajos en serie y las máquinas de fresar roscas empleadas para fresar roscas.

Figura 23. Maquinas fresadoras: Vertical (izq.), Paralela (centro), Planear (der.).



Fuente: elaboración tomada de de Alrededor de las Máquinas-herramienta. (Heinrich 2006)

- **Fresadora CNC:** Una fresadora CNC es una máquina herramienta de fabricación por arranque de viruta, que mediante la utilización de programas de Control Numérico y programas CAD/CAM enviadas desde un ordenador se puede producir piezas más rápidas y con mayor exactitud.

Figura 24. Fresadora CNC.



Fuente: elaboración tomada de FRS-CNC.com SACOR SL. (SACOR SL; 2013)

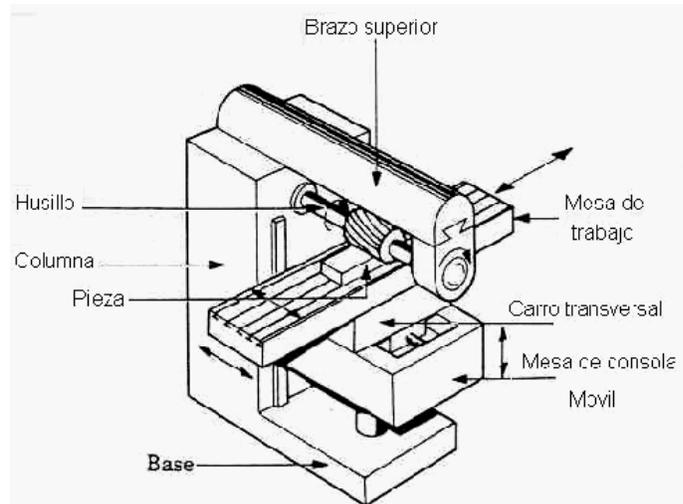
8.4. Partes mecánicas.

Estas son partes mecánicas de una Fresadora.

- Base: Soporte de toda la fresadora.
- Columna: Es la parte más grande de la máquina y está montada en la base, es el apoyo de la mesa y del cabezal.
- Cabezal: Esta parte es conocida como aparato vertical, que soportar la herramienta utilizada para el mecanizado.
- Carro Longitudinal: Se desplaza longitudinalmente.
- Carro Transversal: Este carro sostiene la mesa y la desplaza transversalmente.
- Carro Vertical: Es la estructura más rígida de la fresadora, esta abarca el motor de accionamiento de la herramienta y la caja de cambios para las velocidades de desplazamiento transversal, vertical y horizontal.

- Accionadores manuales de carros: Sirve para mover las mesas manualmente de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo y de atrás hacia adelante y viceversa.
- Husillo: Lugar de montaje de herramientas de corte (Fresas).

Figura 25. Partes de la fresadora.



Fuente: elaboración tomada de blogspot.com. (Macfresa; 2015)

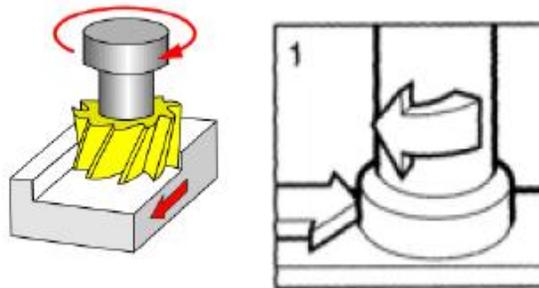
8.5. Tipos básicos de fresados.

En este tipo de operación se utiliza una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes que se mueven lentamente sobre el material a trabajar para sí generar una superficie recta. El fresado se diferencia del taladrado, esto es debido a la orientación entre el eje de la herramienta y la dirección de avance a trabajar. En el taladrado la herramienta de corte avanza en dirección paralela al motor de fresado en este caso a su eje de rotación.

Existen dos tipos básicos del Fresado:

- **Fresado frontal:** en el fresado frontal el avance de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo y el maquinado se ejecuta por los bordes o extremos, la profundidad de corte es en dirección axial.

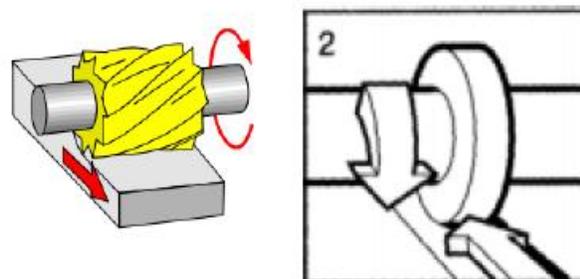
Figura 26. Fresado frontal.



Fuente: elaboración tomada de Docplayer.es Máquinas herramientas II. (Martínez s.f.)

- **Fresado Periférico o Cilíndrico:** en este tipo de fresado el avance de la fresa es paralelo a la superficie que se está maquinando, la dirección de corte es radial.

Figura 27. Fresado cilíndrico.



Fuente: elaboración tomada de Docplayer.es Máquinas herramientas II. (Martínez s.f.)

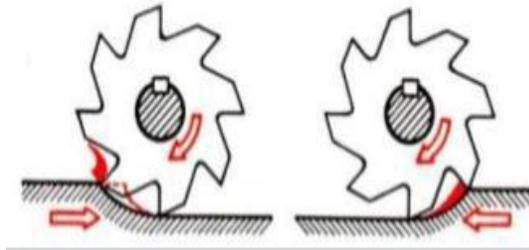
8.6. Tipos de fresado cilíndrico y frontal.

Se dará a conocer los tipos de fresado que se puede presentar tanto cilíndrico como frontal.

8.6.1. Fresado cilíndrico.

- **Fresado en oposición o normal:** también llamado fresado convencional, La trayectoria de la fresa es opuesta a la dirección de avance de la fresa. Arranca viruta en contra al avance.

Figura 28. Oposición (Izq.) y Concordancia (Der.).



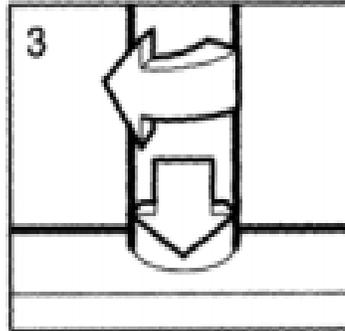
Fuente: elaboración tomada de tecnología informática. (tecnología-informática.com s.f.)

- **Fresado en concordancia:** también llamado fresado tipo escalonamiento, La trayectoria de movimiento de la fresa es igual a la dirección de avance cuando los dientes arrancan la viruta. Arrancan viruta a favor del movimiento de avance.

8.6.2. Fresado frontal.

- **Avance axial:** El avance axial se da tanto en avance y profundidad de corte simultáneamente en dirección axial.

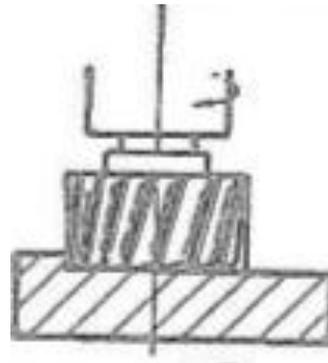
Figura 29. Avance axial.



Fuente: elaboración tomada de Docplayer.es Máquinas herramientas II. (Martínez s.f.)

- **Fresado convencional:** se da cuando el diámetro de la fresa es más grande que el ancho que el área de trabajo.

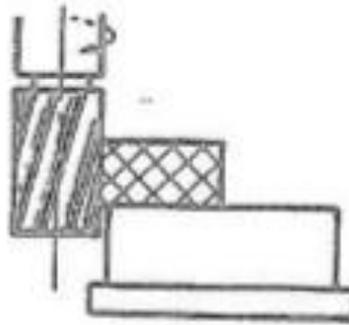
Figura 30. Fresado convencional.



Fuente: elaboración tomada de SlideShare. (Urrego Ospina 2010)

- **Fresado parcial de caras:** en el cual la fresa sobrepasa el área de trabajo solo en un extremo.

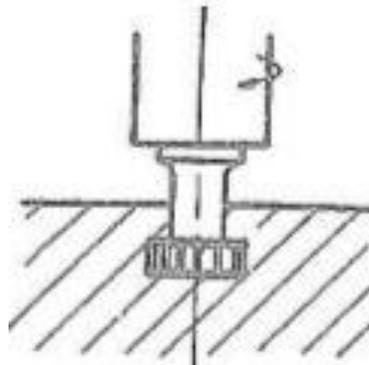
Figura 31. Fresado parcial de caras.



Fuente: elaboración tomada de SlideShare. (Urrego Ospina 2010)

- **Fresado terminal:** el diámetro de la fresa es menor que el ancho del área de trabajo.

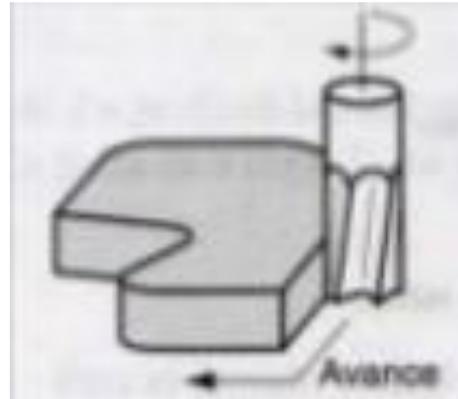
Figura 32. Fresado terminal.



Fuente: elaboración tomada de SlideShare. (Urrego Ospina 2010)

- **Fresado de perfiles:** es una forma de fresado terminal en el cual se corta una parte plana de la periferia.

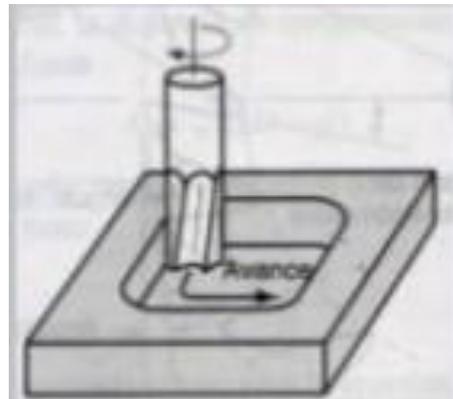
Figura 33. Fresado de perfiles.



Fuente: elaboración tomada de SlideShare. (Urrego Ospina 2010)

- **Fresado de cavidades:** es otra forma de fresado terminal usado para fresar cavidades poco profundas en partes planas.

Figura 34. Fresado de cavidades.



Fuente: elaboración tomada de SlideShare. (Urrego Ospina 2010)

9. FRESAS.

Las fresas generalmente se asemejan a las brocas empleadas en los taladros, su forma es alargada y están construidas de acero. Su función principal es arrancar viruta de la pieza en forma giratoria y progresiva.

9.1. Tipo de fresas.

Para cada operación de mecanizado con fresadora, existe una variedad de fresas, empleadas para metal, otras para madera, incluso existen fresas para plásticos.

Debido al gran número de fresas se detalla a continuación en las (tablas 5,) con todas las clasificaciones de las fresas, características, aplicaciones, esquema y algunos ejemplos.

Tabla 6. Usos y selección de fresas.

TIPOS FRESAS	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	ESQUEMA	EJEMPLOS
CILÍNDRICAS PERIFÉRICAS (Dientes solo en la periferia)	Con dentado recto (corte brusco)	Uso en la fresadora horizontal		Fresado en superficies planas <ul style="list-style-type: none"> • Superficies de apoyo de materiales • Superficie de deslizamiento para rieles • Superficie de guías, correderas, etc.
	Con dentado helicoidal El espaciado entre dientes varía según la dureza del material a fresar (Blando=mayor espaciado, Duro=menor espaciado)	<ul style="list-style-type: none"> • Planeado • Desbaste • Afinado 		
	Acopladas Montaje de dos fresas con dentado helicoidal de sentido opuesto (permite el equilibrio de las fuerzas axiales)	<ul style="list-style-type: none"> • Desbaste • Rebajado de superficies • Ranurado Profundo 		
CILÍNDRICAS FRONTALES SIN VÁSTAGO (Dientes en la periferia y cara lateral)		Uso en la fresadora horizontal y vertical para fresado en escuadra <ul style="list-style-type: none"> • Rebajado en ángulo recto 		

Fuente: elaboración tomada de Máquinas Y Herramientas. (Schwab 2011)

Tabla 7. Usos y selección de fresa.

DE DISCO (Poca longitud de corte a su diámetro)	Con dentado recto	<ul style="list-style-type: none"> Ramurado plano 		<ul style="list-style-type: none"> Fresado de Tornillos Fresado de Chaveteros planos y profundos Curvas Arcos circulares
	Con dentado cruzado o alterno	<ul style="list-style-type: none"> Ramurado profundo 		
	Con dentado en cruz	<ul style="list-style-type: none"> Chaveteros profundos 		
	Acopladas ajustables Montaje de dos fresas de disco, rectas o en cruz, una sobre otra;	<ul style="list-style-type: none"> Ramurado profundo con longitudes ajustables 		
	Sierras circulares:	<ul style="list-style-type: none"> Corte de piezas Ramurado estrecho (Cabezas de tornillos) 		
ANGULARES SIN VÁSTAGO (Dos filos principales que forman un ángulo entre sí)	Frontales	<ul style="list-style-type: none"> Mecanizado de guías en ángulo a 45, 50, 55 y 60 grados 		Obtención de <ul style="list-style-type: none"> Guías prismáticas, en ángulo Reglas de acero para taller, de 3 y 4 aristas, con sección rectangular.
	Prismáticas	<ul style="list-style-type: none"> Mecanizado de guías prismáticas en ángulo de 45, 60 y 90 grados 		

Fuente: elaboración tomada de Máquinas Y Herramientas. (Schwab 2011)

Tabla 8. Usos y selección de fresa.

FRESAS CON VÁSTAGO (Cilíndrico o cónico)	Cilíndrico-frontales	De bola o punta esférica	<ul style="list-style-type: none"> Copiado Matrices Fresado de contornos 		Fresado de <ul style="list-style-type: none"> Piezas hexagonales Chaveteros y orificios rasgados Tuercas Ejes de chavetas Ruedas dentadas
		De punta plana	<ul style="list-style-type: none"> Acabado Desbaste 		
		Para ranuras T	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado 		
		Para ranuras Woodruff			
	Cónicas		<ul style="list-style-type: none"> Avellanado preciso de orificios 		
	Ángulos	Cola de milano (Forma trapezoidal)	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado y ensamble a cola de milano 		
DE PERFIL CONSTANTE (Con o sin vástago) Dejan la geometría del diente en la pieza a mecanizar	Destaladas	Convexas	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado semicircular con radios de 1 a 20 mm. 		Fresado de <ul style="list-style-type: none"> Superficies sinuosas Curvas Arcos Ranuras Perfiles de todo tipo
		Cóncavas	<ul style="list-style-type: none"> Obtención de superficies semicirculares con radios de 0.5 a 20 mm 		
	De módulo (Fresas de disco)		Tallado de <ul style="list-style-type: none"> Engranajes Ruedas dentadas Piñones de cadena Cremalleras Tornillos sin fin 		
	Múltiples		<ul style="list-style-type: none"> Roscado Mordazas 		

Fuente: elaboración tomada de Máquinas Y Herramientas. (Schwab 2011)

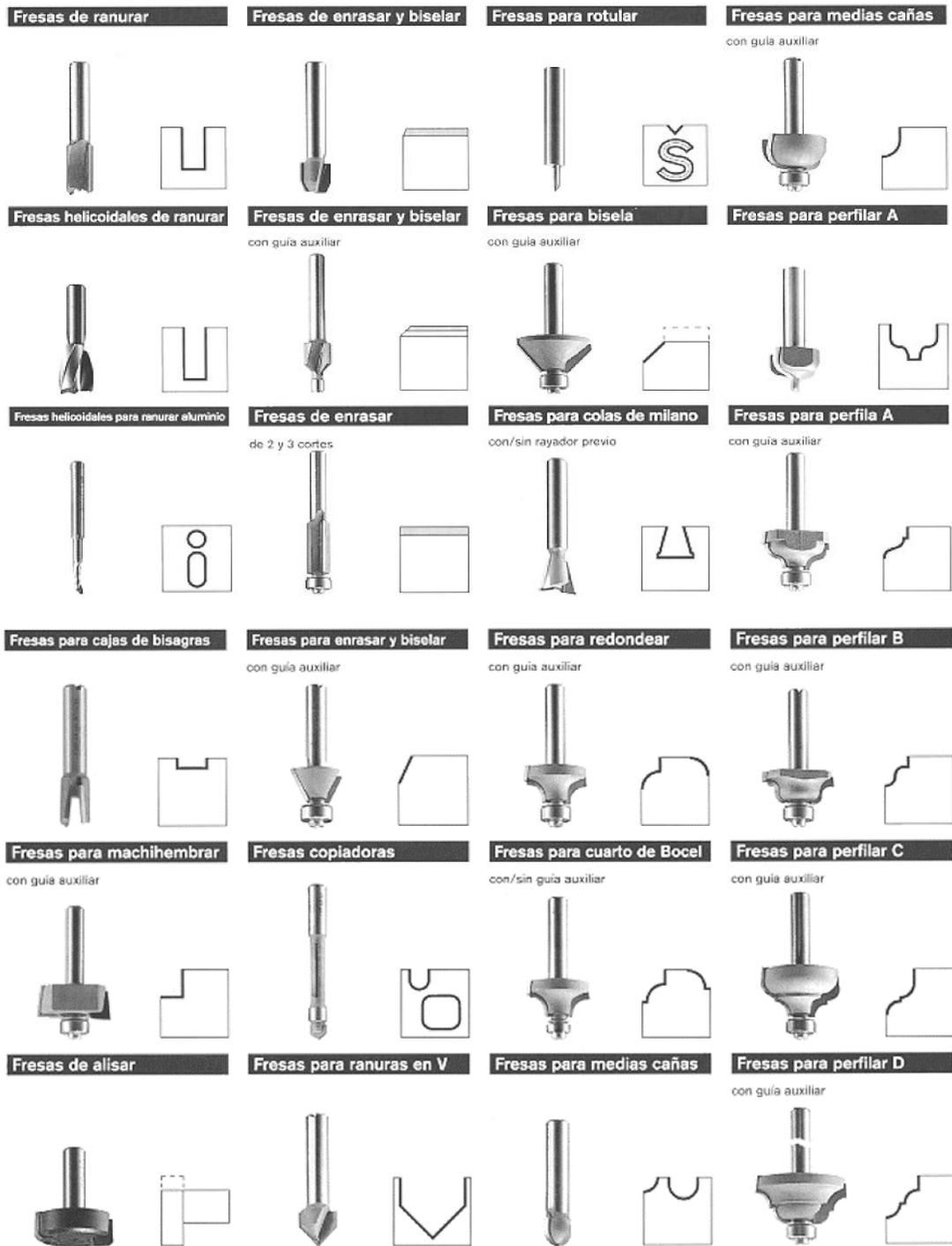
Tabla 9. Usos y selección de fresa.

COMPUESTAS (Tren de Fresas)	Montaje de dos o más fresas de distinto tipo (reúnen las propiedades de las fresas de perfil constante a un costo mucho menor)			Fresado de perfiles de todo tipo
FRESAS MADRE (Con o sin vástago)	Mecanizan al mismo tiempo todos los dientes de un engranaje, con una gran ventaja sobre las fresas de módulo, que lo hace diente por diente	Ídem fresas de módulo		Fresado por generación <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de engranajes en serie con el número deseado de dientes, perfiles y ángulos de hélice

Fuente: elaboración tomada de Máquinas Y Herramientas. (Schwab 2011)

Existen muchísimos tipos de fresas diseñadas especialmente para trabajar en madera, según su forma y su tamaño.

Figura 35. Fresas para madera y cortes que realizan.



Fuente: elaboración tomada de Brico-todo. (bricotodo.com s.f.)

9.2. Operaciones de fresado.

En este tipo de máquina herramienta, se puede realizar múltiples operaciones de fresado como, por ejemplo:

- Planeado. Como su nombre lo indica, permite conseguir un fresado plano.
- Corte. Permite conseguir cortes deseados en los fresados finales.
- Ranurado recto. En este fresado se emplea las fresas cilíndricas, dependiendo del ancho de la ranura que se desea mecanizar.
- Fresado de cavidades. Este fresado sigue un orden: primero se realiza la perforación de la cavidad y segundo mecaniza con la fresa deseada, para obtener la pieza final.
- Fresado en rampa y el taladrado. Para estos fresados es necesario de las máquinas fresadoras CNC, debido a su amplia gama de fresas intercambiables.

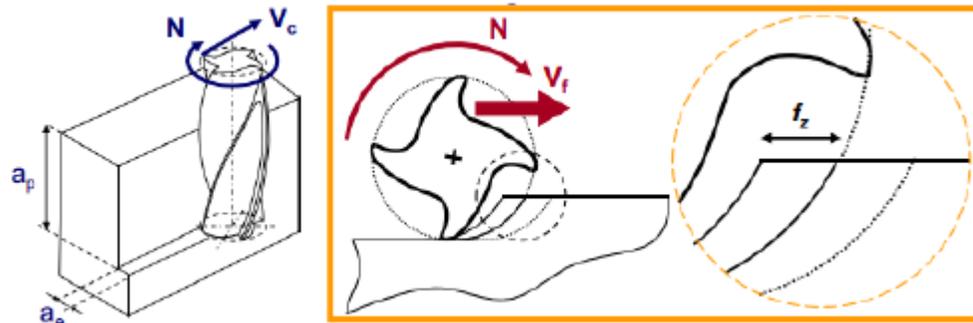
Debido a que en estas operaciones se requiere de eficacia y precisión, es necesario usar parámetros de mecanizado, para obtener un producto de calidad.

9.3. Parámetros del fresado.

En el proceso de mecanizado se emplean los siguientes parámetros:

- Selección de la máquina herramienta y de las fresas a utilizar.
- Conocer qué tipo de fresado se desea realizar.
- Elección de los parámetros de corte.

Figura 36. Parámetros de corte.



Fuente: elaboración tomada de Escuela Técnica Superior de Ingeniería. (Universidad Técnica Superior de Ingeniería 2010)

- Velocidad de avance.

Distancia recorrida por la herramienta en sentido contrario a la pieza por unidad de tiempo.

$$V_f = f_z \cdot N \cdot Z \left(\frac{mm}{min} \right) \quad (Ec. 1)$$

- Velocidad de corte.

Velocidad adyacente con la que los dientes de corte mecanizan la pieza.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \left(\frac{m}{min} \right) \quad (Ec. 2)$$

- Velocidad de rotación de la herramienta.

Velocidad angular de la herramienta de fresado en el husillo.

$$N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (rpm) \quad (Ec. 3)$$

- Avance por diente.

Distancia que recorre la herramienta mientras un diente en concreto está implicado en el corte.

$$f_z = \frac{V_f}{N \cdot z} \left(\frac{mm}{diente} \right) \quad (Ec. 4)$$

- Avance por revolución.

Distancia que se mueve la herramienta durante la rotación.

$$f_n = \frac{V_f}{N} \left(\frac{mm}{rev} \right) \quad (Ec. 5)$$

- Velocidad de arranque de viruta.

$$Q = \frac{a_p a_e V_f}{1000} \left(\frac{cm^3}{min} \right) \quad (Ec. 6)$$

- Espesor de Viruta.

$$e = \left(\frac{V_f}{Z \cdot N} \right) \sqrt{\frac{a_p}{D}} \left(\frac{mm}{rev} \right) \quad (Ec. 7)$$

- Fuerza de Corte.

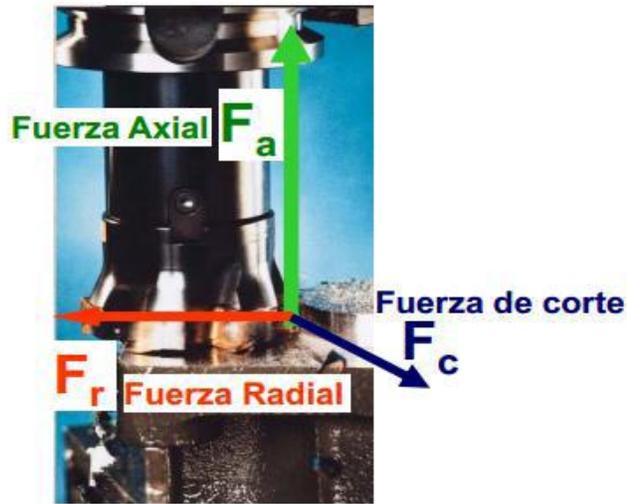
Están compuesta por el esfuerzo del arranque de viruta y el esfuerzo para romper viruta,

$$F_c = K \cdot A_c (N) \quad (Ec. 8)$$

- Potencia neta

$$P_c = F_c \cdot V_c (t) (W) \quad (Ec. 9)$$

Figura 37. Fuerza de corte (F_c), fuerza axial (F_a) y fuerza radial (F_r).



Fuente: elaboración tomada de Escuela Técnica Superior de Ingeniería. (Universidad Técnica Superior de Ingeniería 2010)

10. MARCO LEGAL.

Este proyecto está enfocada en el desarrollo de una CNC portable controlada por un Arduino, por lo tanto, la regulación legal que se encuentra está directamente relacionada con los tornos y fresadoras que son utilizados en la industria mecánica, de producción y demás. Existen varias normativas que se deben de tener en cuenta, a continuación, se presentan:

- ISO 2972:1979. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para el “control numérico de máquinas – Símbolos, la última vez que fue revisado por el comité técnico es de 2017”.
- ISO/TR 6132:1981. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para el “control numérico de máquinas: comando operacional y formato de datos”.
- ISO 4342:1985. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para el “Control numérico de máquinas. Procesador de entrada NC. Parte del programa básico de referencia de idiomas”.
- ISO 2806:1994. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para los “Sistemas de automatización industrial - Control numérico de máquinas – Vocabulario; la última revisión se hizo en el año de 2017”.
- ISO 3592:2000. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para los “Sistemas de automatización industrial - Control numérico de máquinas - Salida de procesador NC - Estructura de archivos y formato de idioma”.
- ISO 4343:2000. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para los “Sistemas de automatización industrial - Control numérico de máquinas - Salida del procesador NC - Comandos del procesador posterior”.
- ISO 841:2001. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para los “Sistemas de automatización industrial e integración - Control numérico de máquinas - Sistema de coordenadas y nomenclatura de movimiento, última verificación en el año 2017”.
- ISO 230-4:2005. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para el “Código de prueba para máquinas herramienta - Parte 4:

Pruebas circulares para máquinas herramienta controladas numéricamente, revisada por última vez en el 2004”.

- ISO 6983-1:2009. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para los “Sistemas de automatización e integración - Control numérico de máquinas - Formato de programa y definiciones de palabras de dirección - Parte 1: Formato de datos para sistemas de posicionamiento, movimiento de línea y control de contornos”.
- ISO 230-2:2014. Según (ISO: International Organization for Standardization, s.f.) es para el “código de prueba para máquinas herramienta - Parte 2: Determinación de la precisión y repetibilidad del posicionamiento de los ejes controlados numéricamente”.

11. MARCO CONTEXTUAL.

Para elaborar esta tesis de grado se tomará fuentes secundarias y terciarias, es decir, información de internet, revistas y libros acerca del diseño de las maquinas CNC actuales y sus avances, identificando el tipo de proyecto y las etapas para el desarrollo del diseño del artefacto que se quiere llevar a cabo.

Luego se realizará el diseño mecánico del prototipo de fresadora CNC, iniciando con el modelado 3D en Autodesk Inventor 2018 y la reunión de las diversas piezas diseñadas que podrán ser de utilidad para la persona que considere realizar un prototipo de fresadora CNC, tomando como referencia la estructura, tal como la base (eje Y), el brazo (eje X), y la cabeza (eje Z); finalmente se modelará el ensamble general. Luego de tener el modelo 3D con sus respectivos planos, en los cuales se especificarán los materiales y procesos de manufactura necesarios para la construcción de las partes y el montaje del sistema en el cual se mostrará de acuerdo a una simulación de ellos, se generará realizando recomendaciones y conclusiones para la persona o ente que tenga como objetivo diseñar el prototipo de una CNC.

De manera alternativa se adelantará el trabajo en la selección de las tarjetas electrónicas (Arduino Uno y Driver), y de los motores, que son más adecuadas para el momento de la construcción del artefacto.

Se pretende diseñar la elaboración del prototipo de CNC portable de acuerdo al siguiente orden: diseño de la estructura, diseño de la base (eje Y), diseño del brazo (eje X), diseño de la cabeza de fresado (eje Z), unificación de los carros X, Y, y Z, simulación del prototipo de CNC en su construcción, sistema de alimentación y partes electrónicas.

12. METODOLOGÍA.

12.1. Participantes o sujetos.

La realización de este proyecto está enfocada y direccionada en los procesos industriales del Taller PedriTorno ubicada en el barrio El Tesoro con carrera 18 # 27 – 05 Agustín Codazzi – Cesar a 60 Km de su capital Valledupar - Cesar, legalmente constituida por su propietario Pedro Manuel De la Hoz Collazos con su registro mercantil vigente con número 21988, empresa que ha sido pionera desde los años 60's en la fabricación, remanufacturación y diseño de piezas industriales en dicha localidad aportando grande facilidad al agro. Por el auge de cultivo de palmas en la zona se ha visto en la necesidad de actualizar sus equipos y competir con las empresas de mayor envergadura, en la cual se vio la necesidad de desarrollar este prototipo para su mayor productividad, eficiencia y calidad, ya que las maquinas herramientas que utilizan están desgastadas y sus fresadoras están en un estado de deterioro. Por tal motivo con espíritu emprendedor se realizó este proyecto.

Figura 38. Taller PedriTorno.



Fuente: elaboración propia realizada en el Taller PedriTorno.

12.2. Programas CAD a utilizar.

Para la realización del diseño del prototipo se utilizará inicialmente un software encaminado al diseño de las partes de la fresadora como lo son SolidWorks, Autodesk Inventor y Unreal Engine, además, de herramientas físicas que permiten la realización del modelo de la fresadora CNC.

En todo caso, las herramientas usadas serán certificadas y tomadas como instrumentos para el diseño del prototipo de la fresadora CNC.

La validez de los instrumentos será aprobada en el momento en que el prototipo empiece a operar y realice la función de industrializar los procesos de la empresa Taller PedriTorno.

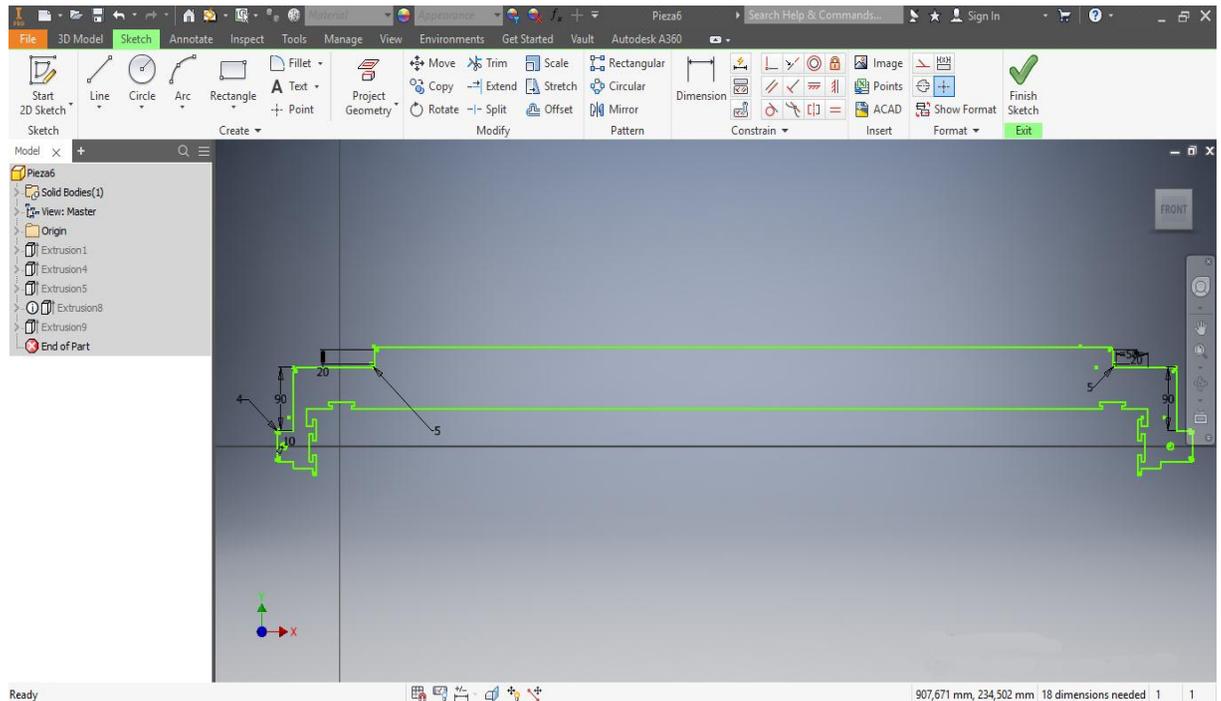
12.3. Diseño en la realización del entorno del programa CAD.

El proyecto está enfocado en la realización del diseño de un prototipo de fresadora CNC portable, por lo tanto, será un modelo que usa un software especializado al momento en que se realice el artículo, en el cual está encaminada a la realización de CAD en 3D y generando la simulación de sí misma, para dar el modelo final al proyecto.

El esquema de la tesis de grado será mediante el cumplimiento de paso por paso mediante diseño, ensayo por simulación de su construcción y programación por arduino que permitan obtener éxito en el prototipo de la fresadora. Al tener medidas y diseños de la fabricación de la fresadora CNC portable para la mejora de la productividad en las pequeñas empresas, las pymes pueden construir una versión física del prototipo y realizarlo de una manera rápida. Utilizando un software CAD se facilitara el diseño del prototipo.

La ventana principal es el plano principal, se inicia con un dibujo realizado en 2D (Figura 39), en donde se comenzaran a diseñar cada una de las partes y elementos que componen del prototipo de fresadora CNC portable.

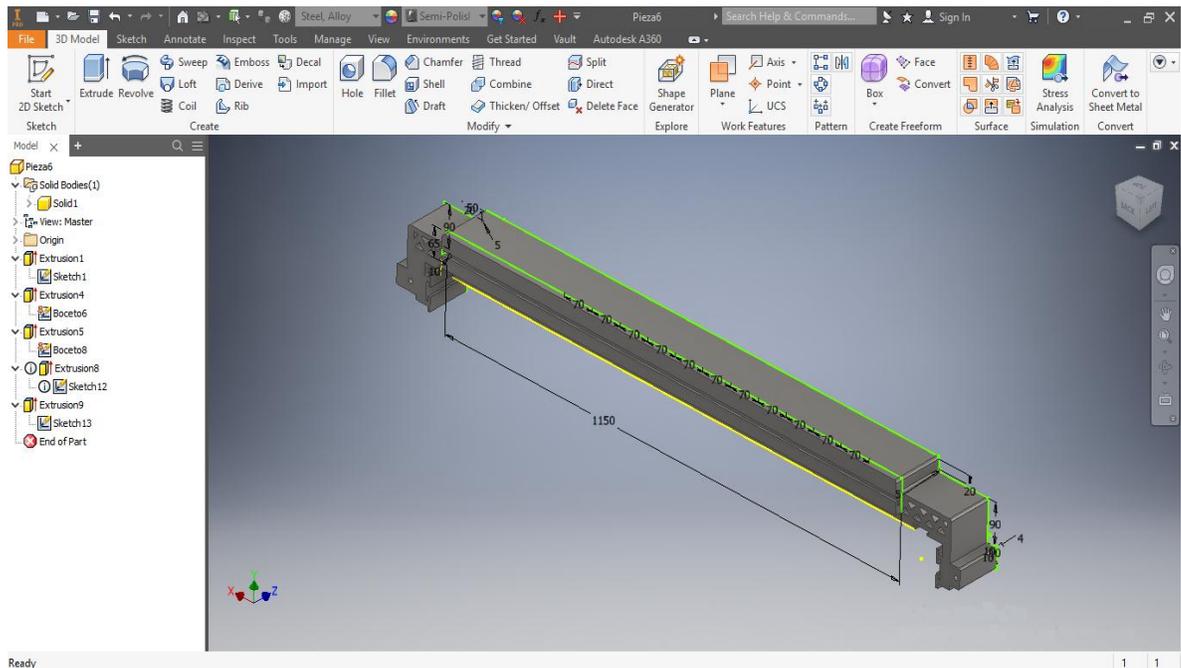
Figura 39. Ventana de trabajo.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

Posteriormente hay otra ventana que permite organizar las coordenadas a través de las cuales se emitirán las piezas en 3D para que el proyecto tenga forma en la realidad.

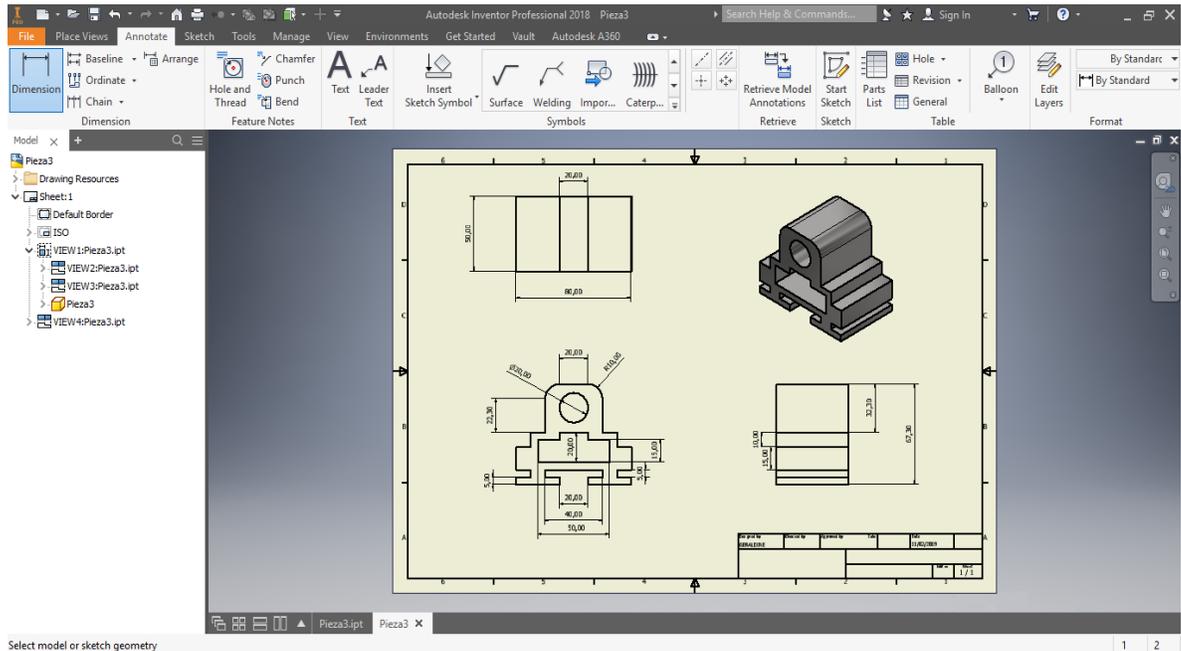
Figura 40. Modelo en 3D.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

Finalmente el software cuenta con unas ventanas a través de las cuales se pueden diseñar los comandos de mando, los cuales combinaran los controles de mando con las coordenadas para que el prototipo de fresadora CNC portable funcione de acuerdo con las condiciones del taller PedriTorno, también para que se realicen las medidas exactas al momento de elaborar.

Figura 41. Comando de mando.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

12.4. Procedimiento.

El desarrollo del prototipo de fresadora será el objetivo general de esta tesis de grado, el procedimiento será mediante la creación de diseños en programas especializados que permiten entregar un molde del prototipo de fresadora y así dar inicio de la construcción paso a paso de acuerdo a la información teórica mencionada en los capítulos anteriores.

13. CONSIDERACIONES ÉTICAS.

En cuanto a la parte ética, en el proceso de recolección de información y de diseño, se referencio con citas textuales y su respectiva bibliografía, para llevar a cabo la realización del prototipo de fresadora CNC portable, teniendo en cuenta los usos de materiales y herramientas necesarias para el diseño del mismo.

Con relación al análisis de la información, esta será observada con diferentes herramientas, tales como Microsoft Word para procesar la información, el software CAD para la observación del diseño, Matlab para la realización de la interfaz de control y demás, mientras que el comportamiento estructural de algunos de los componentes del prototipo del prototipo de fresadora CNC portable, se realiza por medio de elementos finitos con ayuda del software SolidWorks y Autodesk Inventor, y para finalizar la realización de una simulación en 3D en Unreal Engine para demostrar la construcción del proyecto a realizar para cumplir los objetivos planteados. Consecutivamente se analizará la información recogida con el fin de ordenarla y clasificarla, para así verificar la coherencia de las categorías que inicialmente se tienen en el proyecto.

14. DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.

Con el fin de realizar este proyecto, la información se mostrará de acuerdo a unas series de pasos en el cual se dividirá en: Implementación mecánica, realización de la estructura en formato CAD, etapa de electrónica, programación del microcontrolador (Arduino), interfaz de control y simulación de la construcción.

Se espera que con la tesis de grado de acuerdo a una simulación en 3D presentada se entreguen los diseños con medidas e imágenes acordes a un prototipo de fresadora CNC portable que sea controlado por arduino, de tal manera para el usuario que desee construir un prototipo del CNC sea mucho más dinámica y efectiva la realización de la misma.

14.1. Materiales para la implementación.

Para esta parte es importante tener en cuenta el tipo de materiales que se va a utilizar para la edificación del prototipo de fresadora CNC, ya que de este depende la calidad a la hora de realizar un mecanizado y también para aprovechar un mayor tiempo de uso del prototipo en el Anexo 7 se mostrara una tabla para la selección del material a usar en la parte mecánica del proyecto, en el cual se genera cargas estáticas que son aquellas que no varían su magnitud durante el transcurso del tiempo.

La realización de este prototipo de fresadora CNC portable, requiere de los siguientes elementos, tanto eléctricos como mecánicos:

- Tres motores Nema 23 Bipolar Modelo 57BYGH420-2 de 200 pasos de resolución para los ejes X y Y. (Se puede colocar 2 motores a uno de estos ejes, es opcional colocar el otro motor para tener mayor fuerza de movimiento, se adicionaría en serie para ejercer los mismos pasos).
- Un actuador lineal DC 12v de 200N de 50-300mm. (Se puede cambiar por un motor Nema 23 Bipolar Modelo 57BYGH420-2).
- Cuatro Módulo L298N Puente H para controlar la dirección de Motores PaP (Paso a Paso).

- Tres Soportes de motores PaP.
- Fuente de alimentación de 12 voltios a 15 Amperios, para suministra flujo eléctrico al prototipo de máquina herramienta.
- 6 Finales de Carrera.
- Arduino Uno Rev3 (Controlador).
- PCB (Placa de Circuito Impreso para el paso de señal de los driver a arduino)
- Jumpers macho-macho y macho-hembra para conexión de arduino a driver.
- Fresadora o Spindle de 3.000 a 12.000 r.p.m.
- Varillas roscadas trapezoidales con rosca de 8mm de diámetro con 1mm de paso.
- Tuercas de seguridad y normales para las varillas roscadas trapezoidales que fueron elegidas previamente.
- Rodamientos prefabricados con medidas a las varillas roscadas trapezoidales.
- Acoples rígidos con nailon prefabricado para Motores PaP y varillas roscadas trapezoidales de acuerdo a sus medidas.
- Tornillos para sujeción de motores.
- Las medidas del área de trabajo son de 100 x 100 x 60cm.

14.2. Sistema de transmisión.

La solución óptima habría sido un husillo de bolas también conocido por tornillo de bola recirculante (Figura 42), es un actuador lineal mecánico que convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal con pocas perdidas por fricción. Ya que un eje roscado proporciona un camino de rodadura helicoidal a unos

rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión, para sí ser capaz de aplicar o resistir altas cargas de empuje.

Figura 42. Husillo de Bolas.



Fuente: elaboración tomada de CNC Repowering. (CNC Repowering s.f.)

Pero debido a su elevado precio, se ha empleado varillas roscadas trapezoidales con un paso 1mm para transmitir potencia, se puede conseguir comercialmente en longitudes de 3 metros y de diámetros desde media pulgada en adelante, las cuales se cortan a la medida deseada.

14.2.1. Varilla roscada trapezoidal.

Para el movimiento de los ejes X, Y, y Z, se emplea un sistema de transmisión de potencia de un tornillo de rosca especial, también denominado como rosca trapezoidal, también se le es conocido como un tornillo sin fin. Desde el inicio del proyecto se han sacrificado ciertos aspectos de precisión con el fin de hacer la máquina rentable económicamente. Además. Como también se indicó, el objetivo es conocer los fundamentos de las máquinas CNC. El tornillo sin fin o de rosca trapezoidal (Figura 43), es un tipo de varilla totalmente roscada el cual inicia y termina con cuatro hilos en sus extremos, formado de acero y zinc; y se encarga de engranar en una tuerca con el mismo tipo de rosca para poder convertir un movimiento circular en movimiento lineal.

Figura 43. Varilla roscada trapezoidal.



Fuente: elaboración tomada de ebay. (ebay s.f.)

14.2.2. Rodamiento eje de transmisión con acople de fijación.

Para poder conectar la varilla de transmisión de potencia se utiliza un rodamiento prefabricado (Figura 44). Será utilizado para sujetar las varillas roscadas trapezoidales previamente seleccionadas con los motores PaP. Para mejorar el funcionamiento y evitar problemas de desgaste prematuras, habrá que lubricar adecuadamente el rodamiento junto con el acople.

Figura 44. Rodamiento para eje.



Fuente: Elaboración propia realizada en Taller PedriTorno.

Figura 45. Realización de prensado para rodamiento y acople.



Fuente: elaboración propia realizada en el taller PedriTorno.

14.2.3. Rodamiento para eje.

También como elemento de apoyo se tiene en cuenta el uso de rodamientos para ejes de 8mm con el fin de evitar rozamientos. Un rodamiento (Figura 46), es un elemento mecánico cuya función es reducir la fricción de las piezas en contacto por medio de rodadura, pues le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento, dando mayor durabilidad y vida útil a las piezas rotacionales. Para mejorar el funcionamiento y evitar problemas de desgaste prematuras, habrá que lubricar adecuadamente los rodamientos.

Figura 46. Rodamiento para eje.



Fuente: elaboración tomada de Vistronica. (Vistronica 2016)

14.2.4. Acople de transmisión.

Para la elaboración de este proyecto se va a realizar acoples rígidos con nailon (Figura 47) para conectar el motor PaP a la varilla de transmisión previamente seleccionados para la medida de los acoples. En la fabricación de los acoplamientos se utilizan procesos adicionales para proporcionar ventajas importantes en su desempeño. Una gran cantidad de tamaños estándar están disponibles con agujero uniforme o distinto de los dos lados desde 3 mm a 50 mm en la serie métrica.

Figura 47. Acople rígido con nailon.



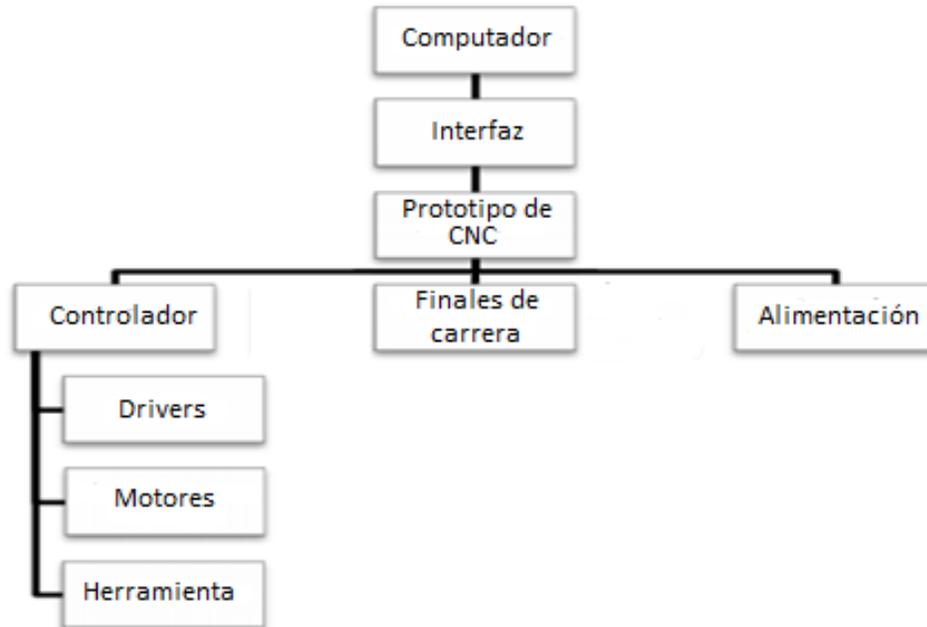
Fuente: elaboración tomada de Ruland. (Ruland 2019)

14.3. Etapa de la implementación CAD del prototipo.

Para el diseño mecánico del prototipo de fresadora CNC, es necesario utilizar un software de diseño CAD (Diseño Asistido por Computadora), ya que cuenta con herramientas avanzadas para el diseño y ensamble de piezas, con estos tipos de softwares permitirá diseñar la fresadora teniendo en cuenta los materiales que se requieren para su realización. En el diseño se elaboraran cada una de las partes, para hacer pruebas de cómo se ensamblaran para que funcionen conjuntamente.

El CAD se puede entender como una técnica de dibujo o diseño gráfico avanzada puesto que a través de múltiples imágenes de color, de capa estilo, línea, definición geométrica entre otros puede irle dando forma a la fresadora CNC portable. El diseño de la fresadora debe tener unas etapas para cumplir y garantizar que el proceso de su realización de la máquina sea el adecuado. En primera instancia esta la etapa conocida como interface en donde se puede conocer la situación actual de la máquina y así lograr mejorar la comunicación entre el ordenador y la máquina.

Figura 48. Esquema CNC.



Fuente: elaboración propia basada en Flujo de procesamiento de una máquina CNC. (A. Aguinaga 2013)

Los sistemas CAD constituyen sistemas de diseño asistido a través de un ordenador, lo cual permite generar varios tipos de modelos a partir de las características de la máquina, los cuales podrían ser el tamaño de las piezas y la forma de las mismas, las cuales se podrán almacenar en dibujos bidimensionales o tridimensionales. Al momento de ingresar los diseños en el ordenador se podrá cambiar la forma y el tamaño de las piezas, así mismo como se podrá verificar si dichas piezas soportaran los circuitos eléctricos que garantizaran el buen funcionamiento de la fresadora CNC portable¹⁴.

¹⁴ Alvaro Enrique Aguinaga, “Integración CAD-CAM-CIM”, 2013.

Figura 49. Flujo de trabajo CNC.



Fuente: elaboración propia basado en Flujo de procesamiento de una máquina CNC. (A. Aguinaga 2013)

14.3.1. Ensamblaje del prototipo de fresadora CNC portable.

A continuación se explicara el paso a paso de la construcción de la fresadora CNC portable tanto en la parte mecánica como en la parte electrónica. Las imágenes serán de más ayuda para comprender el proceso de diseño de dicha máquina, se procede a explicar las tres partes fundamentales de la estructura: base (eje Y), el brazo (eje X) y la cabeza de fresado (eje z), así como el material a usar y el peso de la estructura y sus correspondientes métodos de ensamblaje.

14.3.1.1. Deslizamiento.

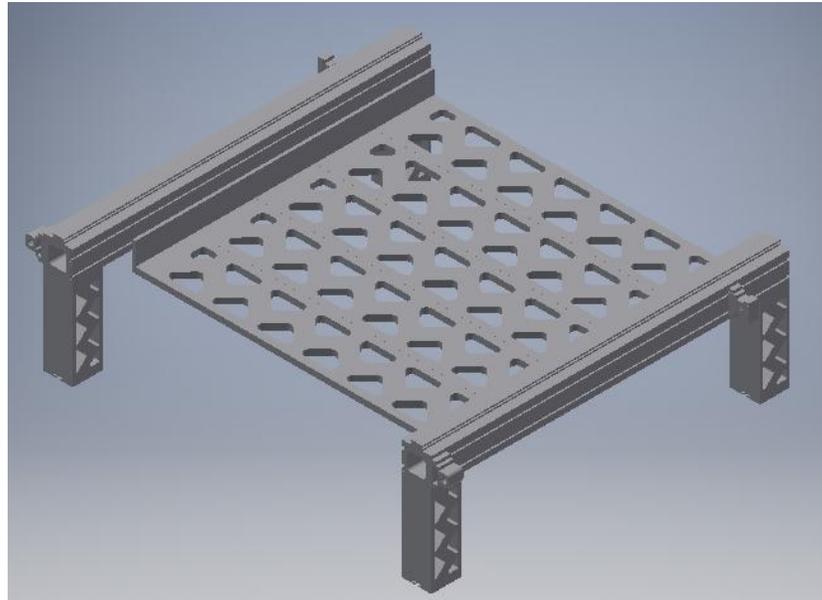
Independiente del sistema de transmisión, las partes movibles del prototipo se deben de deslizar con precisión y de forma suave por las guías. Se optó por usar lubricantes para obtener un coste económico para el proyecto. Inicialmente se pensó la utilización de guías lineales, pero debido al elevado precio, se optó por lo ya mencionado.

14.3.1.2. Base.

El tamaño de la máquina como es portable se optó por la realización que tenga diferente medidas a lo largo de su pieza de transmisión, pero se ha estado

determinando por la longitud máxima de las varillas trapezoidales que en este caso es de 1 metro (1000mm). Este ensamble dispone que todas sus piezas puedan ser removible, se pueda agregar más piezas en la mesa de trabajo y modificar la distancia de los ejes para que sea adaptable al usuario, por la cual el proyecto está hecho para que sea portable.

Figura 50. Vista isométrica de la base.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

Esta parte de la maquina tiene unas dimensiones de 1436x1199x415 mm. Sin contar con el peso de la electrónica, motores y sistema de transmisión, el programa CAD arroja un valor de peso de 315,17 Kilogramos, este será el soporte para los ejes Y-Z. Este elevado peso es debido que los materiales a usar son en Acero 1020 y a su vez le otorgará una gran robustez al conjunto. La lista de piezas es la siguiente:

Tabla 10. Lista de piezas Base (eje Y).

Nombre de la pieza	Cantidad	Masa (Kg)
Soporte laterales	2	111,976

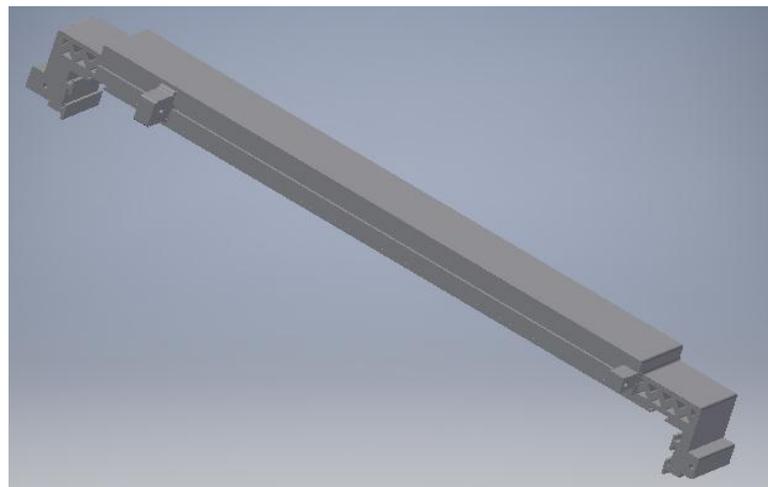
Soporte de base	4	64,532
Base de mesa de trabajo	5	134,87
Soporte para Motor	2	2,028
Soporte para varilla trapezoidal	2	1,768

Fuente: Elaboración propia realizada en SolidWorks.

14.3.1.3. Brazo.

Este probablemente sea la parte más sencilla del ensamblaje ya que cuenta con pocas piezas de ensamble. El brazo o soporte para el eje Z también se determinara por la longitud máxima de la varilla trapezoidal que también va a ser de 1 metro (1000mm).

Figura 51. Vista isométrica del brazo (eje X).



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

Esta parte de la maquina tiene unas dimensiones de 1425x170x184 mm. Sin contar con el peso de la electrónica, motores y sistema de transmisión, el programa CAD arroja un valor de peso de 83,14 Kilogramos, este será el soporte para el eje Z. Este peso es debido que los materiales para las piezas a usar son en Acero 1020. La lista de las piezas es la siguiente:

Tabla 11. Lista de piezas brazo (eje X).

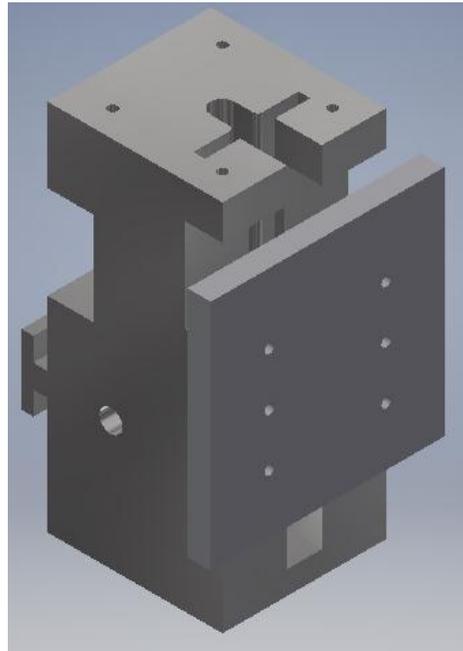
Nombre de la pieza	Cantidad	Masa (Kg)
Brazo	1	82,078
Soporte para motor	1	0,755
Soporte para varilla trapezoidal	1	0,312

Fuente: Elaboración propia realizada en SolidWorks.

14.3.1.4. Cabeza de fresado.

Esta ha sido la parte más complicada para fabricar y diseñar ya que cuenta con diferentes métodos de fresado. Realmente toda la estructura permanece en este punto ya que es donde se encuentra la precisión de la máquina. Debido al poco trabajo dentro de esta pieza, el diseño se tuvo muy en cuenta como poder realizar el ensamblaje y para diferentes motores a usar.

Figura 52 . Vista isométrica de la Cabeza (eje Z).



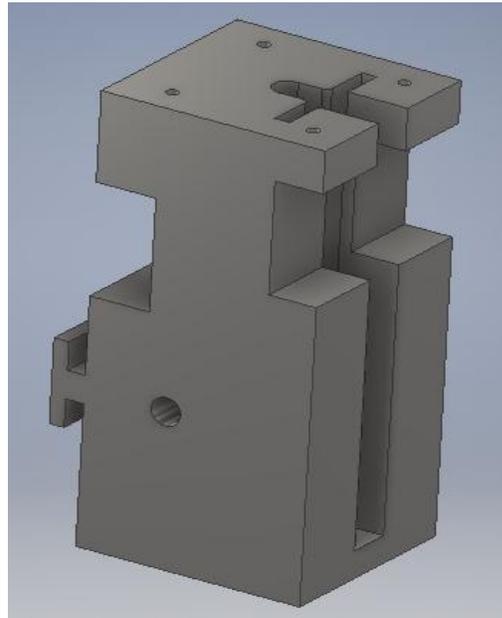
Fuente: Elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

Esta parte de la maquina tiene unas dimensiones de 100x86x230 mm. Sin contar con el peso de la electrónica, motores y sistema de transmisión, el programa CAD arroja un valor de peso de 6,0871 Kilogramos, este será el soporte para el eje Z. Este peso es debido que los materiales para las piezas a usar son en Acero 1020. (280 mm medida máxima para eje Z, esto es debido al desplazamiento ejercido de la parte móvil del eje).

El programa utilizado para realizar las medidas de masa fue en SolidWorks 2017 en donde se realizó las capas para el manejo del material en Acero 1020.

El método de deslizamiento del eje Z se puede entender como dos sistemas a partes la móvil y la inmóvil. El primer paso fue crear la parte inmóvil ya que recae en donde se va a conectar el actuador para sujetar el motor de fresado en el cual se ubicó en la parte superior de este o también llamado casquillo.

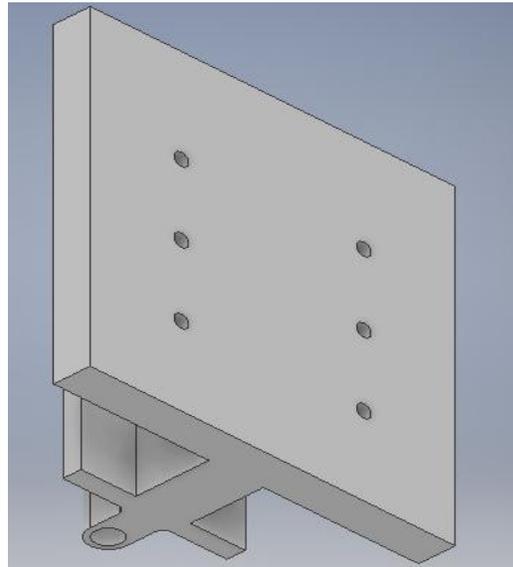
Figura 53. Parte Inmóvil del Eje Z.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

El sistema móvil del eje Z se realizó la parte frontal para que se pueda sujetar el motor de fresado en el cual dispone de seis taladros. La idea es emplearlos para ubicar soportes específicos para las diferentes herramientas. Este conjunto permitirá el empleo de herramientas de dimensiones múltiples

Figura 54. Parte móvil del eje Z.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

La lista de las piezas son las siguientes:

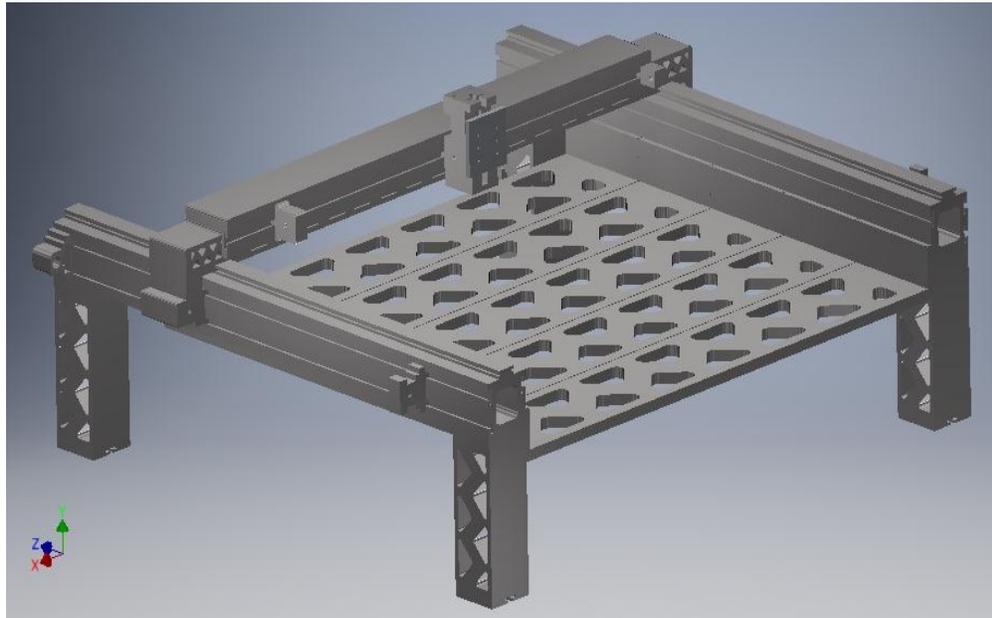
Tabla 12. Lista de piezas cabeza (eje Z).

Nombre de la Pieza	Cantidad	Masa (Kg)
Base Inmóvil	1	5,078
Soporte de fresado	1	1,010

Fuente: Elaboración propia realizada en SolidWorks.

El ensamble final tiene unas dimensiones de 1436x1199x882 mm. Sin contar con el peso de la electrónica, motores y sistema de transmisión, el programa CAD arroja un valor de peso de 404,407 Kilogramos.

Figura 55. Estructura del prototipo de Fresadora CNC.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

La estructura mecánica puede elaborarse bajo un perfil de acero 1020 dado que es económico y ofrece buenos resultados con respecto resistencia y durabilidad, también puede realizarse en aluminio pero generando un 40% más del costo que el material ya hablado. Empleando piezas de acero para los sistemas de transmisión y mecánicos. Para que la maquina empiece el funcionamiento requiere de la rotación transmitida a la varilla trapezoidal y acoplamiento para que la mesa de trabajo se ejecute en el sentido oportuno.

Las varillas trapezoidales se cortan adecuadamente para que entren perfectamente y se pueda lograr el mecanismo de deslizamiento, es muy importante considerar las dimensiones que se necesitan para que la maquina pueda funcionar correctamente en el futuro. Al igual que los soportes para las varillas esto es para que se pueda lograr el mecanismo de rodamiento perfectamente.

Luego de que se corten todas las varillas trapezoidales, se procederá a unirlos para formar el sistema de transmisión en la máquina.

Figura 56. Unión de Varilla Trapezoidal con Rodamiento.



Fuente: Elaboración propia.

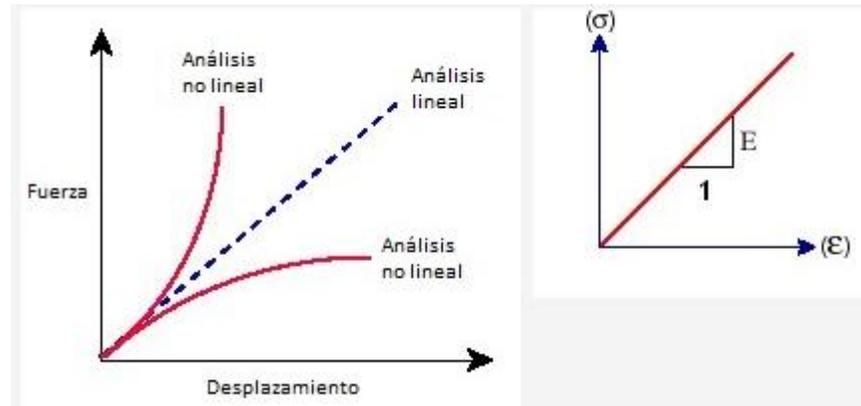
Los movimientos que se producen por la rotación deben ser suaves y estables para que de esta manera puedan reaccionar de manera rápida a las aceleraciones y desaceleraciones.

14.4. Cargas estáticas simuladas.

Cuando se aplican cargas a un sólido, el sólido se deforma y el efecto de las cargas se transmite a través del sólido. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para renderizar el sólido a un estado de equilibrio. El análisis estático calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas.

Todas las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas. Puede utilizar el análisis estático para calcular la respuesta estructural de los sólidos que giran a velocidades constantes o se trasladan con aceleraciones constantes, ya que las cargas generadas no cambian con el tiempo. Esta suposición nos permite ignorar las fuerzas inerciales y de amortiguación debido a pequeñas aceleraciones y velocidades poco significativas. Todos los materiales del modelo cumplen con la Ley de Hooke, esto es, la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria.

Figura 57. Modelo de la Ley de Hooke (elasticidad).



Fuente: elaboración propia tomada de Ciencia y tecnología de los materiales. (Cantabria 2015)

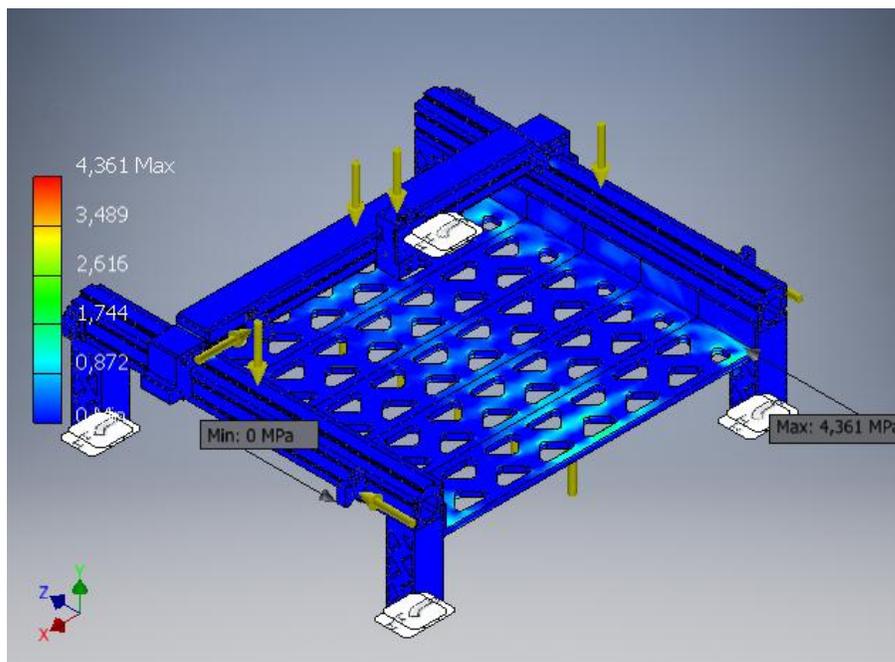
A continuación se mostrara resultados de las cargas estáticas generadas en el diseño final del prototipo de fresadora CNC en donde se presenta las fuerzas de tensión, deslizamiento, de gravedad, entre otras, realizadas en Autodesk Inventor.

Tabla 13. Resultados de Cargas Estáticas.

Nombre	Mínimo	Máximo	Nombre	Mínimo	Máximo
Volume	52316600 mm ³		Z Desplazamiento	-0,00382191 mm	0,000780395 mm
Masa	404,408 kg		Deformación equival	0,00000000094362 ul	0,000019132 ul
Tensión de Von Mises	0,000018928 MPa	4,36066 MPa	1st Deformación	-0,000000882179 ul	0,0000147557 ul
1st Tensión Principal	-0,943004 MPa	3,17814 MPa	3rd Deformación	-0,0000219093 ul	0,000000174676 ul
3rd Tensión Principal	-4,97472 MPa	0,608775 MPa	Deformación XX	-0,0000202118 ul	0,0000144215 ul
Desplazamiento	0 mm	0,0621732 mm	Deformación XY	-0,00000935489 ul	0,0000106507 ul
Factor de seguridad	15 ul	15 ul	Deformación XZ	-0,00000750462 ul	0,00000677616 ul
Tensión XX	-4,49469 MPa	3,12544 MPa	Deformación YY	-0,0000180686 ul	0,00000628639 ul
Tensión XY	-1,47519 MPa	1,67953 MPa	Deformación YZ	-0,0000071838 ul	0,00000446038 ul
Tensión XZ	-1,18342 MPa	1,06855 MPa	Deformación ZZ	-0,00000842858 ul	0,00000726169 ul
Tensión YY	-4,13281 MPa	1,38958 MPa	Presión de contacto	0 MPa	8,0968 MPa
Tensión YZ	-1,13283 MPa	0,703367 MPa	Presión de contacto X	-7,14459 MPa	7,59958 MPa
Tensión ZZ	-1,7224 MPa	1,81922 MPa	Presión de contacto Y	-1,41659 MPa	4,24182 MPa
X Desplazamiento	-0,00309257 mm	0,00285398 mm	Presión de contacto Z	-2,9097 MPa	2,78575 MPa
Y Desplazamiento	-0,0621732 mm	0,000650474 mm			

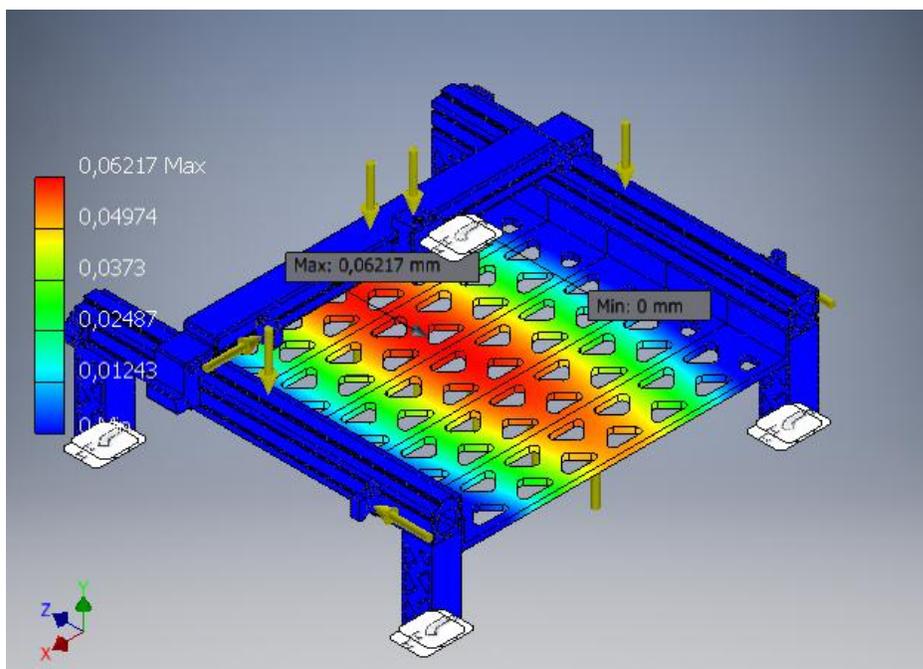
Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

Figura 58. Tensión de Von Mises.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

Figura 59. Desplazamiento de la fuerza ejercida.



Fuente: elaboración propia realizada en Autodesk Inventor.

De acuerdo a la selección de material a usar que es en acero 1020 y los recursos se identifican que son cargas estáticas permanentes en la cual son las cargas generadas por el peso propio de la estructura más las cargas del peso de los elementos adheridos al diseño, se puede definir que tienen un tiempo de uso bastante largo dependiendo del mantenimiento progresivo que se le aplique.

14.5. Especificaciones del prototipo.

Las especificaciones de sus dimensiones y medidas de operación del prototipo se presentarán en la siguiente tabla, en la cual indica el desplazamiento máximo en los ejes:

Tabla 14. Especificaciones principales del prototipo de fresadora CNC.

Especificaciones	
Ejes	3 (X, Y, Z)
Dimensiones del prototipo	1436x1199x882 mm
Dimensiones de la mesa de fresado	1080x1100 mm
Área de trabajo	1000x1000x600 mm
Desplazamiento X	1000mm
Desplazamiento Y	1000mm
Desplazamiento Z	280mm

Fuente: elaboración propia.

Figura 60. Prototipo de fresadora CNC portable ensamblada.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

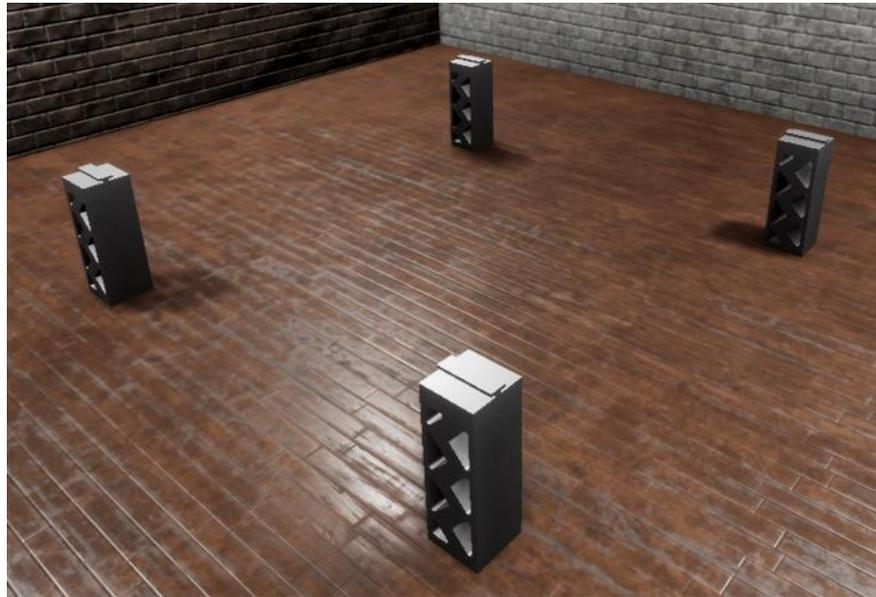
14.6. Simulación de la construcción del prototipo.

Para el desarrollo de la simulación de la construcción se realizó en un software especializado para creación de modelos en 2D y 3D llamado Unreal Engine que se presenta un alto grado de portabilidad y es una herramienta utilizada actualmente por muchos desarrolladores de juegos, simuladores, arquitectos e inclusive en el mundo del cine lo están utilizando actualmente.

A continuación se presentara el conjunto de cómo se monta el prototipo a realizar en este proyecto el cual está basado en la portabilidad de las piezas de la Base, Brazo y Cabeza de fresado para cumplir con los objetivos del proyecto.

Partimos de los soportes de la base que es la que se encarga de resistir todo el peso del prototipo de fresadora CNC portable.

Figura 61. Soporte de Base



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Se adiciona las bases laterales a la distancia adecuada para la ubicación de la mesa de trabajo en la cual dicha pieza estarán los soportes de conexión de los motores, varillas trapezoidales y el conjunto del brazo con la cabeza de fresado.

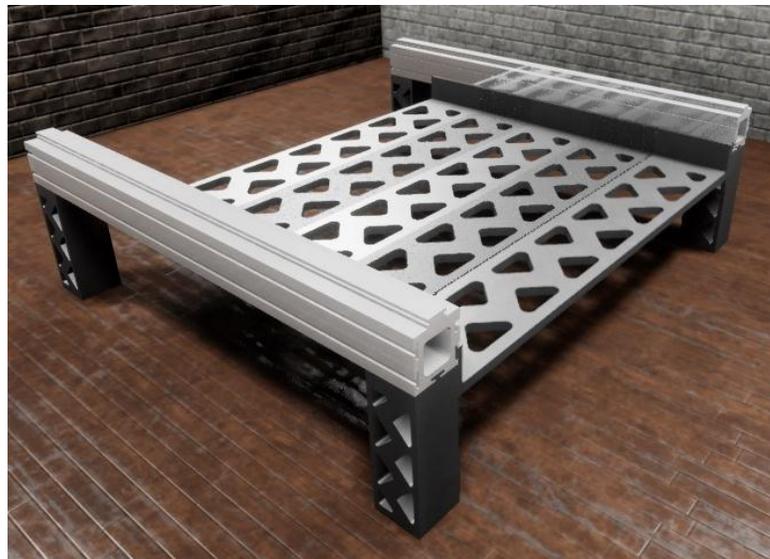
Figura 62. Unión de las bases laterales con los soportes.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Se añade las piezas que conforma la mesa de trabajo en las bases laterales del prototipo en la cual es donde se conforma el área de creación de diseños de acuerdo al tipo de material a usar.

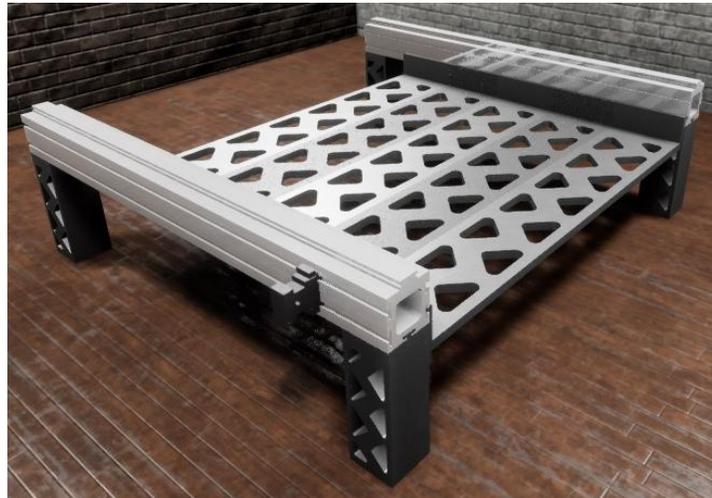
Figura 63. Unión de la mesa de trabajo al prototipo.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Se realiza la unión de los soportes de los motores de la base de trabajo en la cual dará el movimiento del eje Y.

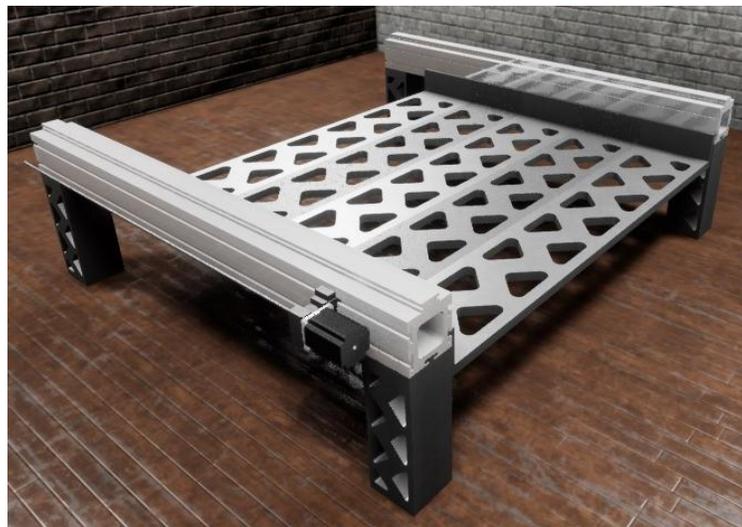
Figura 64. Unión de los soportes de motores a la base del prototipo.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

A continuación se realiza la unión del sistema de transmisión que conforma el movimiento de la base en el cual va a mover el eje Y junto con el motor a trabajar.

Figura 65. Instalación del sistema de transmisión junto con el motor de movimiento del eje Y.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

A continuación se realiza la conformación del esbozo del brazo y la cabeza de fresado para la unión de la base de trabajo que conformara el proyecto, en primera parte se realiza la agrupación del brazo junto con el soporte y el sistema de transmisión.

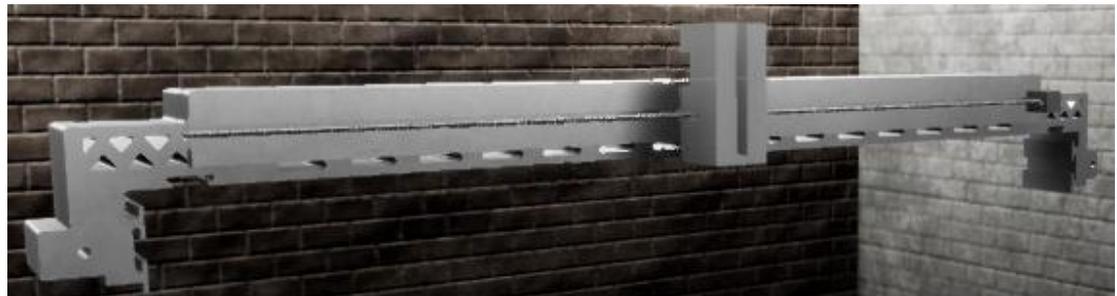
Figura 66. Conformación del brazo junto con el soporte y el sistema de transmisión.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Al realizar la anterior unión ahora se conforma la creación del modelo del Eje Z que se conforma la cabeza de fresado, colocando por primero la parte inmóvil que es la que soportar el peso del motor de fresado y de transmisión de dicho eje.

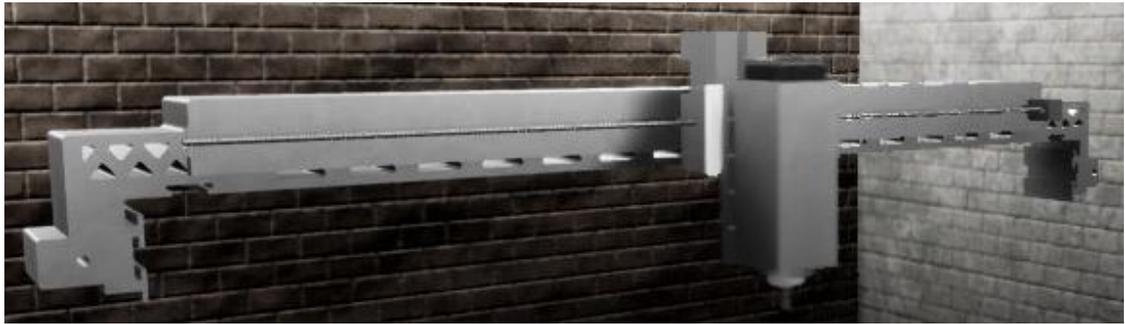
Figura 67. Acoplamiento del sistema del eje Z en el sistema de transmisión del eje X.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Se anexa el sistema de transmisión para dar movimiento al eje Z junto con la parte móvil y el motor de fresado en el cual se mostrara a continuación.

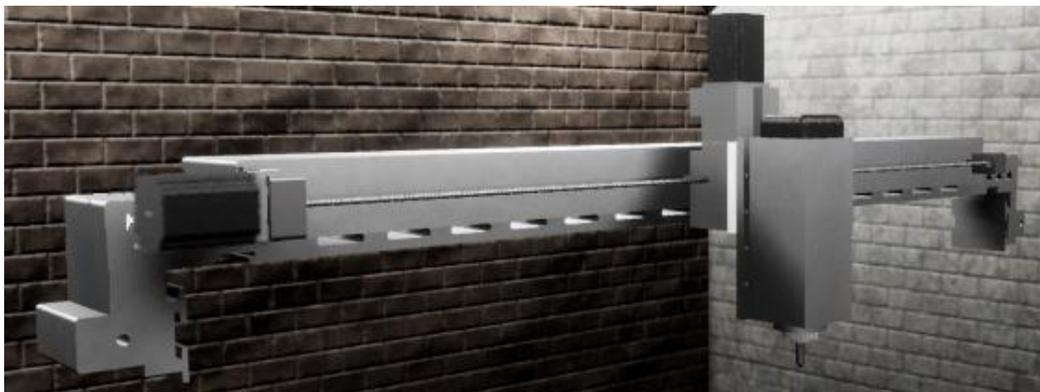
Figura 68. Unión del sistema del eje Z con su base y el motor de fresado.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Se realiza la unificación del soporte del motor del eje X junto con el sistema de transmisión que lo conforma y a su vez el motor que dará movimiento al carril del eje Z, en este caso se usaron motores estándar con las dimensión de los Nema 23 que se usaran en el proyecto y en el siguiente apartado se hablaran de ellos. Se realizó este diseño de motores para realizar una adecuada simulación a la construcción del prototipo de fresadora CNC portable.

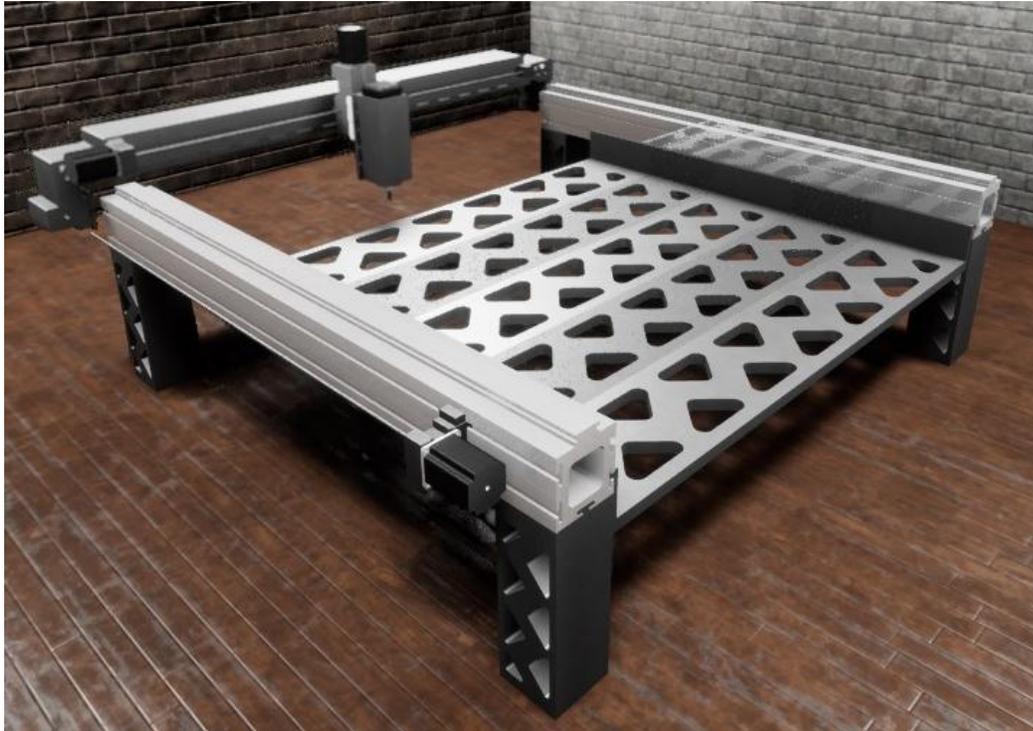
Figura 69. Unión de los motores del eje X-Z junto con soporte.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

A continuación se realiza la unión de todos los sistemas que conforman el prototipo para dar una estructura final de su diseño de construcción.

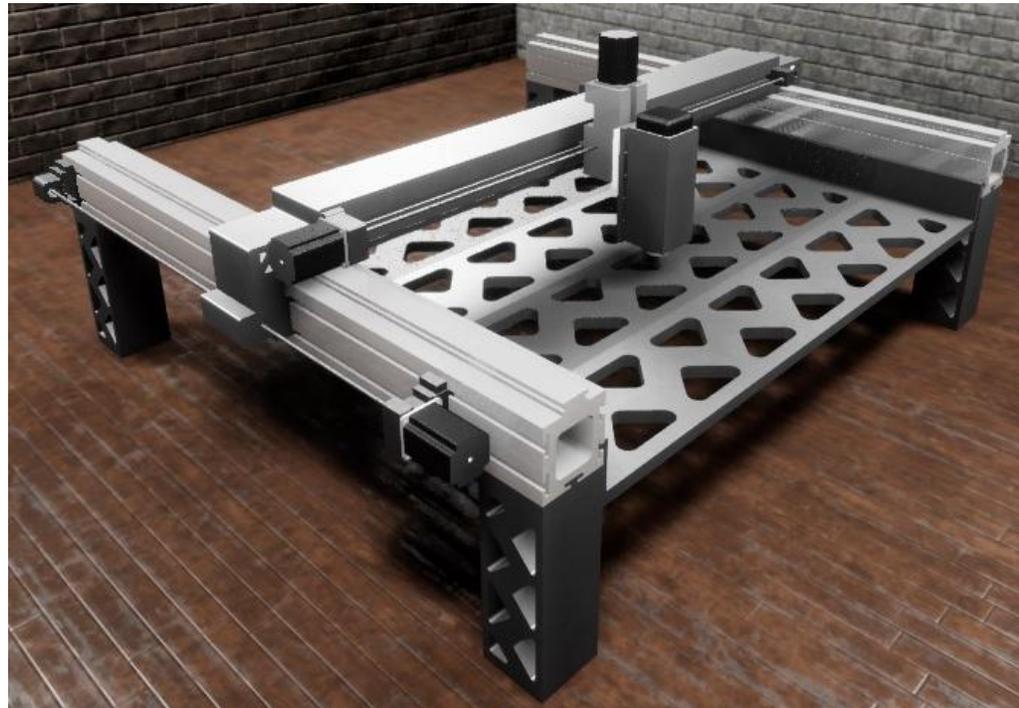
Figura 70. Unión de los sistemas que conforman el prototipo de fresadora CNC portable.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Para finalizar se acopla el soporte del sistema de transmisión del carril del eje Y para conformar todo el proyecto y que este agrupado y asegurado para que no se salga de su área de trabajo.

Figura 71. Finalización de la simulación del diseño del prototipo de fresadora CNC portable.



Fuente: elaboración propia realizada en Unreal Engine.

Como se acaba de observar se realizó todo el diseño de la construcción en una simulación basada en un software especializado en gráficos con un motor de trabajo que se encarga de renderizar los diseños en 2D y 3D, la animación, la Inteligencia Artificial y manejo de memoria de trabajo. Esta simulación se hizo por fines prácticos y educativos realizarlo en este medio llamado Unreal Engine con calidad gráfica alta y cotizaciones de las piezas y recursos a necesitar, ya que no hubo presupuesto para la construcción del proyecto por problemas familiares de la empresa, por lo tanto se hizo un explosionado del prototipo de fresadora CNC portable de cómo se podrá realizar su creación.

La simulación se encarga de ofrecer al usuario modelar procesos que por su naturaleza sean muy cercanos a la realidad, para sí cumplir con los objetivos planteados en el proyecto.

14.7. Etapa de la implementación electrónica del prototipo.

Para desarrollar la parte electrónica de la fresadora CNC portable es necesario implementar el conocimiento del controlador (Arduino) que se conecte con los conectores del driver (Modulo L298N), el cual debe ser compatible con los controles numéricos de los ejes para que se puedan duplicar las fuerzas motrices entre los mismos.

14.7.1. Controlador.

En este proyecto el controlador a implementar va a ser Arduino Rev3. Arduino es una plataforma de electrónica libre para la creación de proyectos y prototipos. Este controlador se creó para cualquier persona interesada en crear entornos u objetos interactivos. El software puede ser descargado de forma gratuita; las placas pueden ser realizadas a mano o compradas ya desde su fabricante.

Existen multitud de tarjetas Arduino, cada uno con características determinadas que las hacen idóneas para varias o una aplicación.

Figura 72. Arduino Uno Rev3.



Fuente: elaboración tomada de Bigtronica. (Bigtronica s.f.)

Otra funcionalidad interesante de estas placas, es que aunque la tarjeta funcione por puerto serial, realmente lo emula desde un puerto USB, por lo que se puede manejar desde cualquier Computadora ya sea portátil o torreta.

Las características de esta tarjeta son:

Tabla 15. Características de Arduino.

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendada)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines digitales E/S	14 (6 PWM de salida)
Pines PWM digitales E/S	6
Pines analógicos	6
Pin de corriente E/S	20 mA
Pin de corriente por 3.3V	50 mA
Memoria Flasj	32 KB (ATmega328P)
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Frecuencia de reloj	16 MHz
Pin de Led	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

Fuente: elaboración tomada de Arduino. (Arduino 2019).

Esta tarjeta, además de simplificar el proceso de trabajo con los Microcontroladores, para información sobre los pines se encuentra en el anexo 4, a parte ofrece algunas ventajas respecto a otros sistemas a estudiantes, amateurs, profesionales y profesores que son:

- Asequible.
- Entorno de programación simple.
- Software de código abierto.
- Hardware ampliable.
- Multiplataforma.

Las funcionalidades de esta tarjeta se puede incrementar exponencialmente mediante el uso de shield (Son placas que pueden ser conectadas a la placa de Arduino extendiendo sus capacidades de manejo). Estas placas son fáciles de montar y baratos de producir. En la ejecución de este proyecto no se implementara ninguna shield. Las diferentes shield que se pueden encontrar para el uso de Arduino son:

- Conexión WiFi.
- Soporte para Display.
- Prototipos de shields.
- Driver para motores paso a paso o continuos.
- Conexión Ethernet y módulo SD.

El lenguaje de programación de Arduino es muy similar a C++ ya que es una implementación de Wiring (es una plataforma de prototipado electrónico de fuente abierta compuesta de un lenguaje de programación, un entorno de desarrollo integrado.¹⁵). El programa es insertado a la placa a través de un cable USB que actúa como puerto serial. Para ello, se requiere del IDE (entorno de desarrollo integrado) que se puede descargar gratuitamente desde su página original, el programa contiene los drivers de las placas a usar.¹⁶

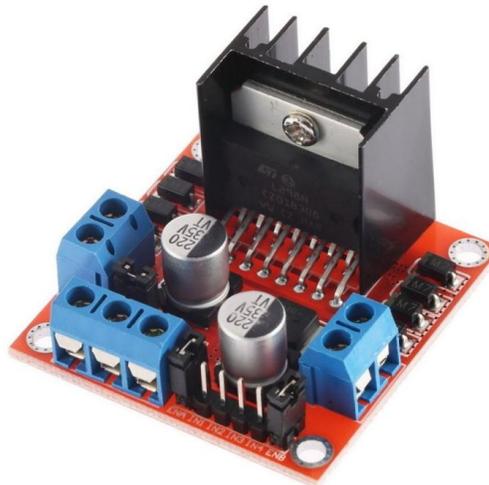
¹⁵ Wikipedia, “Wiring”, <https://es.wikipedia.org/wiki/Wiring>, Mayo 2018.

¹⁶ Arduino, “Documentación de la función de Arduino Uno Rev3”, <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>, 2019.

14.7.2. Driver.

Existen infinitas soluciones para controlar los motores. De entre las posibles soluciones y debido a la arquitectura del proyecto ya que es un prototipo se recomienda a utilizar el driver del módulo L298N, al escoger el Driver de potencia para dichos motores, se tiene que tener en cuenta el algoritmo que se va a hacer puesto que en este caso será un algoritmo de control punto a punto o dicho de otra forma de posicionamiento. Es decir que se encargará de mecanizar solo los puntos iniciales y finales, pero no la trayectoria.

Figura 73. Módulo L298N



Fuente: elaboración tomada de Vistronica. (Vistronica 2016)

Es por esto que se escoge un módulo L298N es driver con un doble puente H que nos permitirá manejar un motor paso a paso bipolar de entre 5-35 voltios, hasta 2 amperios, controlando la velocidad y el sentido de giro de nuestros motores. Este driver permite manejar los altos voltajes e intensidades que se requiere para los movimientos de los motores. En la parte de Anexos se encontrará la información de su datasheet en el cual corresponde a los pines del jfet y sus características más a fondo. Sus principales características son:

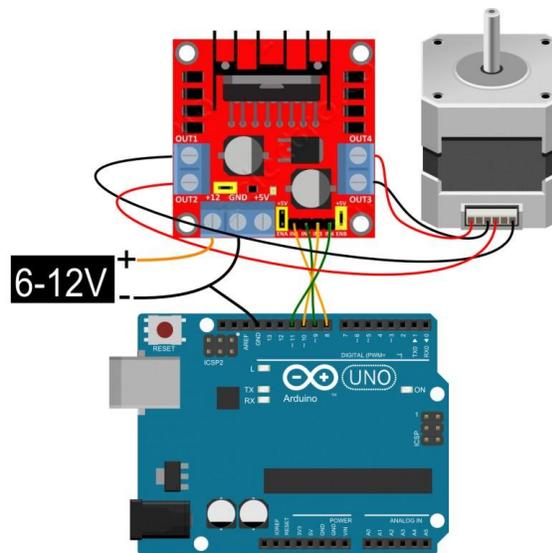
Tabla 16. Característica del driver L298N.

Canales	2
Voltaje lógico	5V
Voltaje de operación	5-35V
Consumo de corriente (Digital)	0-36mA
Capacidad de corriente	2A
Potencia máxima	25W
Peso	30g
Dimensiones	43x43x27 mm

Fuente: elaboración tomado de Bigtronica. (Bigtronica s.f.)

El módulo permite controlar el sentido de giro y velocidad mediante señales TTL que se pueden obtener de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino. La conexión que se debe realizar para los motores y arduino es la siguiente:

Figura 74. Conexión del Driver L298N con Arduino y motor PaP.

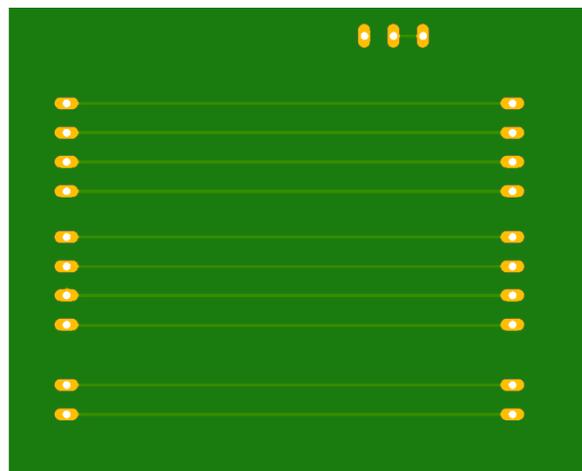


Fuente: Elaboración tomada de ElectroniLab. (ElectroniLab s.f.)

Cabe destacar que se debe realizar un diseño de PCB para dar paso a las conexiones de los otros módulos L298N que se van a realizar, uno de los driver a utilizar tendrá 2 motores PaP (paso a paso) conectados en serie en la cual moverá y dará fuerza de apoyo a uno de los ejes del prototipo.

Un circuito impreso o PCB (Printed Circuit Board), es una tarjeta o placa utilizada para realizar el emplazamiento de los distintos elementos que conforman el circuito y las interconexiones eléctricas entre ellos. A continuación se mostrara el circuito impreso realizado para la conexión de Arduino con los Drivers L298N a implementar.

Figura 75. PCB Conexión de arduino a módulo L298N.



Fuente: elaboración propia realizada en EAGLE.

Esto se hace para reducir pines de trabajo en la arduino y también la conexión de los motores a implementar en el proyecto de tesis de grado.

14.7.3. Motores.

Los motores que se pueden implementar en estos tipos de máquinas herramientas son:

- **Actuadores Lineales:** son unos motores eléctricos de alto nivel tecnológico capaces de convertir el movimiento rotativo de los motores de CC de baja tensión en un movimiento lineal tipo de empuje y tracción (push/pull). Los actuadores eléctricos son la solución perfecta para aquellas aplicaciones que precisan un movimiento sencillo, seguro y limpio con un control suave del movimiento.
- **Motores Brushless (Sin escobillas):** es un tipo de motor que no utiliza escobillas para realizar el cambio de polaridad del rotor.
- **Motores PaP (paso a paso):** es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados dependiendo de sus entradas de control.

En las maquinas herramientas de Control Numérico más simples con asistencias basadas en la precisión del mecanizado se utilizan los motores PaP como actuadores primarios para el movimiento de los ejes. Con motores de este tipo, el giro se subdivide en aumentos fijos que son controlados median un numero de pulsos dado.

14.7.3.1. Motor PaP (paso a paso).

El motor para desarrollar este proyecto debe estar compuesto por dos partes el soporte mecánico el cual contiene los imanes y la otra parte es el rotador que por lo general tienen una forma cilíndrica el cual esta alimentado por energía eléctrica para que de esta manera se produzcan los movimientos a través de unas escobillas que se ponen en contacto con las delgas, cuando el motor se sincroniza con el tren de impulsos de control, el par producido por el motor es equivalente al par de carga que se opone al movimiento. Este es la suma del par necesario para acelerar el rotor/inercia de la carga y el par de fricción.

El motor más recomendado para llevar a cabo el proyecto de la fresadora CNC portable es el NEMA 23 de 9 kg/cm, ya que este diseño es contundente y robusto, su principal característica es el hecho de poder mover un paso a la vez por cada pulso que se les aplique, el motor aplica 1.8° por cada pulso, en el cual necesitará 200 pulsos para efectuar una vuelta completa (360°). El motor tiene las

características adecuadas que permitirán el funcionamiento adecuado de los ejes X-Y del prototipo de fresadora CNC portable. Los pines de trabajo de los motores siempre deben estar operando en los PWM (modulación por ancho de pulsos), esto es para regular la velocidad de movimiento de los motores. Se aplicará tres motores de estos mismos en el eje X-Y en donde uno es un motor de apoyo para aumentar la fuerza del eje ya que normalmente las fresadoras CNC solo optan con solo un motor para cada eje

Figura 76. Motor Nema 23 de 9Kg/cm



Fuente: elaboración tomada de Bigtronica. (BricoGeek s.f.)

En la parte de Anexos se encontrará la información de su datasheet en el cual corresponde a las medidas del motor y sus características más a fondo.

Sus principales características son:

Tabla 17. Característica del motor Nema 23

Pasos por revolución	200
Ángulo de paso	1.8°
Voltaje	3.2V
Corriente	2A / fase
Torque	9Kg/cm
Módulo	57BYGH420-2

Fuente: Elaboración tomada de BricoGeek. (BricoGeek s.f.)

Los motores de paso a paso permiten una mayor facilidad y precisión, la principal función de este motor es que permite que al momento es que se realiza un pulso se aplique la precisión del pulso.

Para evitar daños con el prototipo se tiene que tener en cuenta el torque ejercido por la varilla trapezoidal para mover la carga a la cual está sometido. Este torque aproximadamente es de 0.2 N/m. Por lo tanto se calcula el motor para obtener el torque mínimo y así mismo escoger un motor paso a paso que se adapte al diseño. Además este proyecto busca que la máquina tenga un consumo de energía bajo, por lo tanto el motor elegido es el más adecuado ya que muestra un factor de seguridad elevado.

Factor de seguridad:

$$N_f = \frac{T_{Motor}}{T_{Tornillo}} = \frac{0.9 \text{ N/m}}{0.2 \text{ N/m}} = 4.5$$

Este factor de seguridad es más que adecuado para el manejo del prototipo.

Cabe destacar que se puede utilizar este mismo motor para el eje Z, pero se facilita el uso aplicando un Actuador lineal ya que envía una señal al controlador de 1 o 0, subir o bajar, tiene la misma funcionalidad que un servomotor.

14.7.3.2. Actuador lineal eléctrico.

El actuador lineal eléctrico utilizado es capaz de transformar la energía suministrada para la activación de un proceso con la finalidad de generar un gran efecto sobre un sistema automatizado.

El motor a implementar para el manejo del Carril del eje Z es un actuador lineal de 12V con una fuerza de 200N a 2Amp, también se puede optar como reemplazo el motor seleccionado anteriormente, se empleó este tipo de motor ya que el manejo de su programación es sencilla ya que envía una señal al controlador de 1 o 0 en el cual solo va a operar la subida y baja del soporte de la fresadora proporcionando un posicionamiento preciso y un control exacto del actuador. El pin de trabajo del actuador siempre debe estar operando en los PWM (modulación por ancho de pulsos), esto es para regular la velocidad de movimiento dicho actuador.

Figura 77. Actuador lineal Eléctrico.



Fuente: elaboración tomada de ebay. (ebay s.f.)

El actuador establece una velocidad de avance de 30mm/s a un voltaje de 12V en corriente directa (DC) con una carga máxima de 200N que puede soportar una masa de 20Kg, en la cual establece una frecuencia de trabajo de un 20%, la longitud de trabajo que se establece es de 50 a 300 mm, estos datos son más que suficientes para cargar un motor de fresado con bastante potencia de arranque de viruta.

14.8. Finales de carrera

Simplemente se han empleado seis finales de carrera accionados mecánicamente con la configuración de normalmente abierta (NA), se emplea dos de ellos para cada eje correspondiente X-Y-Z. Este sensor se utiliza con el fin de saber cuáles

son los límites de la máquina para evitar que sufra daños innecesarios por movimientos bruscos. Además que servirá como guía para regresar a la posición cero del prototipo.

No está mal incluir en este documento hablar sobre estos switch de posición, es con el fin de describir con todo detalle el ensamblaje. Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes; un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo.

El único factor que se ha tenido en cuenta para elegir el modelo del final de carrera es que tuviera un tamaño adecuado, robusto, que resultara cómodo para colocarlo y sobre todo económico, de forma que si por cualquier motivo o despiste de la máquina u operario no se detenga al final de la carrera de trabajo no dañe el Switch si no que detenga el movimiento del prototipo.

Figura 78. Final de carrera.



Fuente: elaboración tomada de Bigtronica. (Bigtronica s.f.)

Esto es algo complicado y peligroso. Por tal motivo el cable de conexión del final de carrera se rompe o simplemente este averiado, aunque la máquina llegue a una posición de limite, nunca se va a detener, pues esta configuración de contacto normalmente abierto va a seguir indicando al controlador que todo funciona correctamente y la maquina va a seguir operando.

Infortunadamente en la composición de este proyecto no se ha contado con esta revisión, por lo que los finales de carrera, aunque son totalmente funcionales, ellos requieren de un mantenimiento periódico para asegurar que están a su capacidad máxima para evitar problemas en el maquinado.

14.9. Fuente de alimentación

Para alimentar todo el prototipo de fresadora CNC portable se ha optado por emplear una fuente suicheada de 12 Volteos a 15 Amperios, esta opción es aceptable ya que se encuentra a un precio muy razonable para el proyecto realizado.

Figura 79. Fuente suicheada 12V.



Fuente: elaboración tomada de Bigtronica. (Bigtronica s.f.)

Se ha empleado esta fuente de alimentación, ya que ofrece un voltaje y amperaje adecuado para realizar todo el trabajo en la máquina, además ofrece protección a sobrecarga y cortocircuito, perfecto para las primeras fases de prueba de ejecución del proyecto. La alimentación de la fresadora se hace directamente a 120V.

Tomando valores máximos de amperaje de los motores y drivers a usar es más que suficiente para el rango de trabajo, ya que:

3 motores PaP Nema23 que consumen un amperaje máximo de 2Amp cada uno.

1 actuador lineal 12V DC de 2Amp

3 drivers L298N que consume un amperaje máximo de 0,36mAmp cada uno dependiendo el tipo de motor a efectuar

$$Amp_{Max\ de\ trabajo} = (3_{MPaP} * 2_{Amp}) + (1_{AcLi} * 2_{Amp}) + (3_{L298N} * 0,036_{Amp})$$

$$Amp_{Max\ de\ consumo} = 8,108_{Amp}$$

Sus principales características son:

Tabla 18. Características principales de fuente de alimentación.

Voltaje de salida	12V DC
Corriente Max.	15A DC
Potencia Nominal	180W
Rizado y ruido	120mV
Voltaje de entrada	AC 100-120 V AC 200-240V
Frecuencia	50Hz/60Hz
Eficiencia	>80%
Temperatura de trabajo	-10 a +60 °C

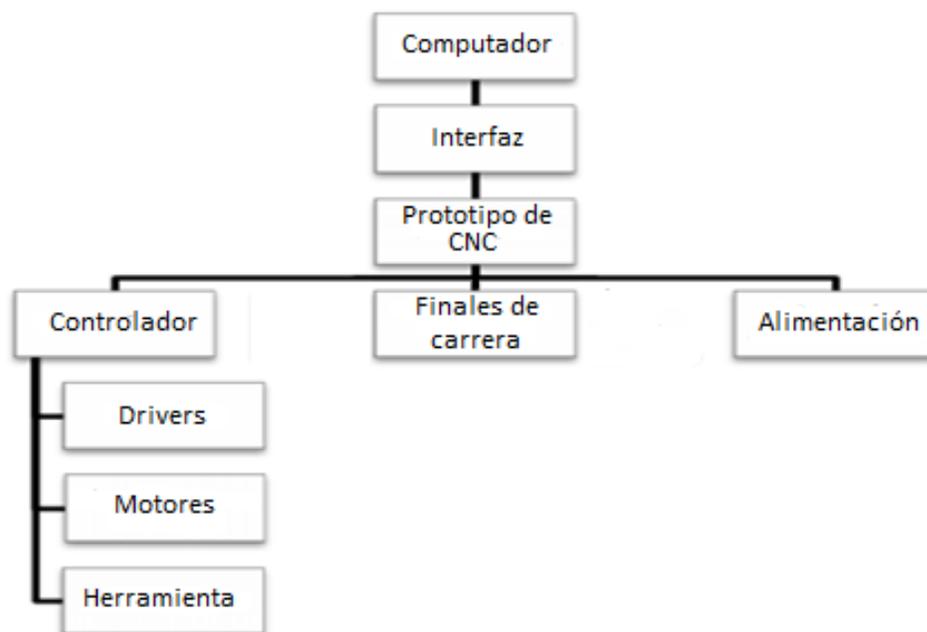
Fuente: elaboración tomada de Bigtronica. (Bigtronica s.f.)

Para que la maquina funcione, siempre debe estar conectada a un ordenador y conectada toma corriente para suministrar la información y flujo eléctrico para realizar el trabajo.

14.10. Desarrollo de la programación.

Para el control de la maquina se realizó un algoritmo el cual permite realizar un control de posicionamiento ya que es manejado por las guías dependiendo de la operación que se vaya a ejecutar según la velocidad máxima ingresada por el usuario, con el fin de reducir los tiempos muertos, pero desacelera cuando el motor PaP (paso a paso) alcanza una posición definida. Es decir cuando se empieza el proceso como realizar el fresado, el posicionamiento y corte toma lugar secuencialmente. Luego el motor lineal se retrae, se mueve rápidamente a otra posición y se repite la operación.

Figura 80. Esquema de control del prototipo de fresadora CNC portable.



Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestran una serie de pasos que se tuvieron en cuenta para realizar el código:

Figura 81. Pasos a realizar código.



Fuente: elaboración propia.

14.10.1. Determinación del desplazamiento de los ejes

Se realizó la caracterización del desplazamiento del eje Y, para determinar la cantidad de pulsos, para poder calcular la ganancia de transmisión en una escala de pasos por unidad de longitud y así determinar la cantidad de pasos necesarios para cumplir con la medida ingresada.

Es decir se tienen 200 pasos del motor PaP sobre el desplazamiento que equivale a 6mm.

$$\text{Pulsos}/\text{cm} = 333.33$$

Esto se refiere a que el valor es el mismo para el eje X-Y, debido a que los 2 ejes se utilizaron la misma varilla roscada y el mismo nema 23 de 0.9 N/m, en el eje Z se optó por el uso de un actuador línea para realizar un trabajo más eficiente. A continuación se define los pines en donde van conectados los motores a usar.

Tabla 19. Pines a usar para los motores.

Ejes	Habilitar	Pasos	Dirección
Motor X	Pin 10	Pin 5	Pin 4
Motor Y1	Pin 10	Pin 7	Pin 6
Motor Y2	Pin 10	Pin 7	Pin 6
Motor Z	Pin 10	Pin 9	Pin 8

Fuente: elaboración propia.

14.10.2. Función de movimiento de los ejes

Posteriormente se caracterizó el valor de la función “Movimiento” para obtener 3 velocidades posibles de movimiento del prototipo de fresadora CNC, es decir un tipo de delay (retraso), partiendo desde la velocidad estimada para el corte del material según tablas estandarizadas es de 250mm/min, así entonces se calculó el valor necesario para garantizar la velocidad mínima de corte del material y se establecieron dos velocidades un poco más rápidas y así garantizar la versatilidad de velocidades que dispone la máquina. A continuación se presentan las medidas que podrán utilizar el usuario.

Tabla 20. Movimiento de ejes.

Moviento	Velocidad (cm/seg)
1000	1.5
1700	0.88
4100	0.44

Fuente: elaboración propia.

A continuación se mostrará una tabla de los materiales que se podrán usar para el tipo de fresado para así se pueda ajustar al tipo de movimiento a la máquina, en el anexo 7 también se puede realizar el uso de selección de material de trabajo.

Tabla 21. Valores de presión específica de corte Ks0 para materiales de uso frecuente.

Material	Presión (Kg/mm ²)	Zc (factor de corrección)
Acero dulce	170-125	0.5
Fundición gris blanda	80	0.4
Latón y bronce medianos	80	0.3
Aluminio y aleaciones dulces	50	0.3
Cobre	35	0.3
Magnesio	31.5	0.3
Plastico	8	0.3

Fuente: elaboración propia basada en los factores de mecanizado.

Se tiene presente que los procesos que se llevan a cabo son de fresado y, por lo tanto, en la tabla se muestran los parámetros para materiales ligeros.

14.10.3. Pines de conexión para finales de carrera

Para colocar el sensor de final de carrera se realiza una rutina la cual es la de "Activación", establece cualquier posición de la máquina y el límite final a el que cada eje puede llegar. Se utilizaron pines de interrupción para interrumpir la rutina de control y resetear el programa volviendo los ejes a "Activación", esto pasa cada vez que el estado del sensor pasa de LOW a HIGH, lo cual se acciona cuando los carros llegan al extremo de los ejes, todo esto se hace con el fin de evitar choques que comprometan la seguridad de la máquina y el operario.

Tabla 22. Pines de conexión para finales de carrera.

	Finales de carrea	Pines digitales
Activación	Fin X	Pin 26
	Fin Y	Pin 22
	Fin Z	Pin 24
Interrupción	ai0	Pin 2
	ai1	Pin 3
	ai2	Pin 18

Fuente: elaboración propia.

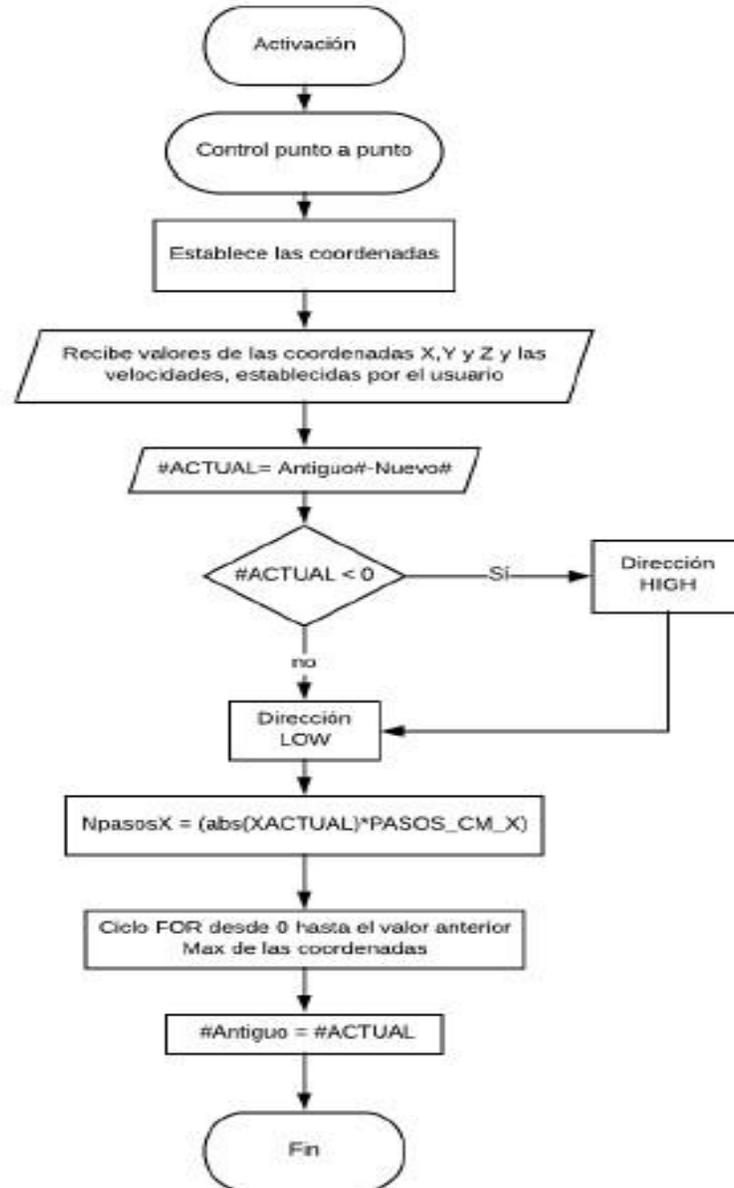
14.10.4. Diagrama de flujo de maquinado.

Se realiza dos diagramas de flujo para la programación del maquinado en donde serán la rutina que se encarga de interpretar las coordenadas y la rutina de activación de la maquina en la cual va a realizar el trabajo solicitado.

14.10.4.1. Rutina de interpretación del programa.

Se describe la rutina que se encarga de interpretar las coordenadas recibidas por el puerto serial, la cual convierte estos datos en cantidad de pasos para cada motor y establece una dirección, posteriormente compara cuál es el valor mayor de pasos y ejecuta un ciclo que se repite hasta dicha cantidad, comparando en cada momento la variable global de ciclo con la que almacena la cantidad de pasos para cada motor, en el momento en que sea mayor no se le enviarán señales a el motor correspondiente hasta terminar el ciclo, luego se almacena el valor de la coordenada ingresada en otra variable de posición para que la rutina sepa en cada momento en donde se encuentra cada eje.

Figura 82. Diagrama de flujo de interpretación de coordenadas.



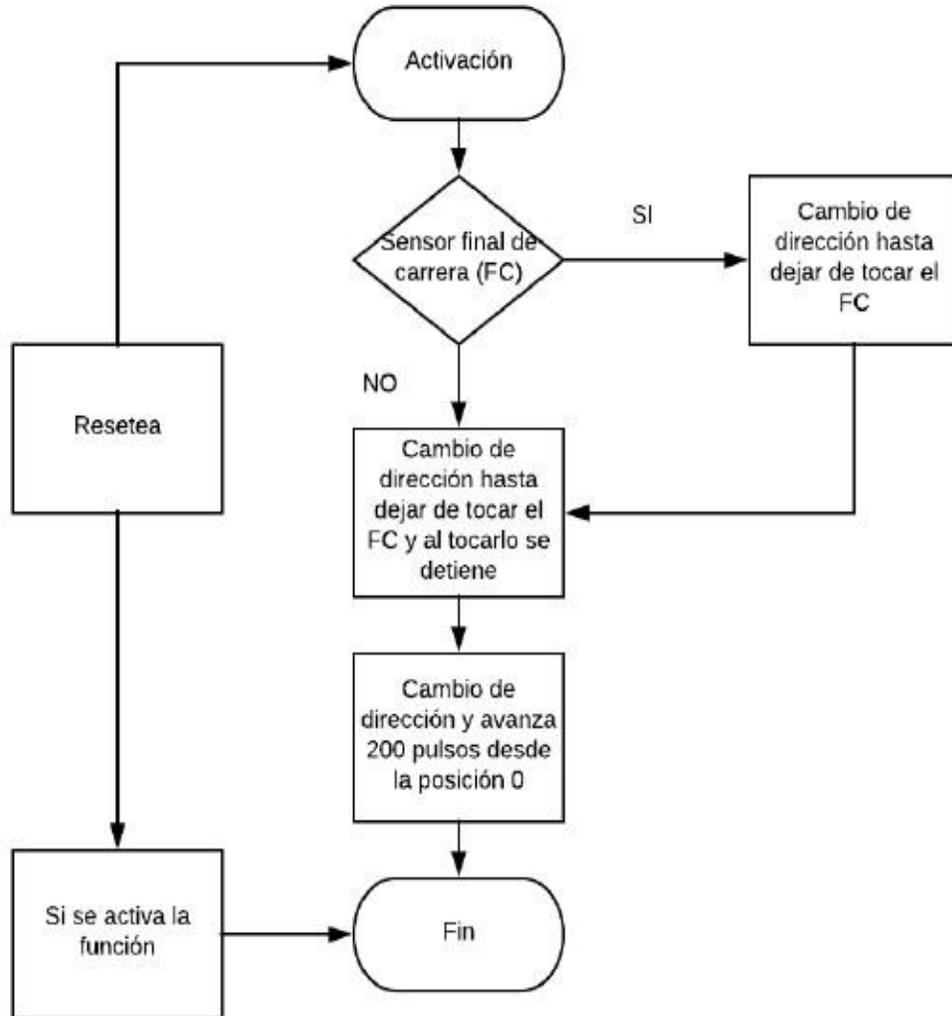
Fuente: elaboración propia.

14.10.4.2. Rutina de activación.

Para la rutina de activación esta es una posición a la cual todos los ejes deben estar siempre antes de ejecutarse la rutina de control principal, esta rutina se ejecutará siempre que se encienda la máquina, ya que por diversos motivos los

ejes pueden estar en cualquier posición al iniciar y debido a que el motor paso a paso no devuelve la posición en la que esta se hace necesario llevar a una posición conocida y desde ahí empezar a moverse.

Figura 83. Diagrama de flujo de rutina de activación.



Fuente. Elaboración propia.

14.10.5. Interfaz del manejo de la máquina.

Este prototipo de fresadora podrá ser controlada a través de un computador, con lo cual se busca garantizar que la posición y la velocidad de los motores de la

maquina estén sincronizados. La interfaz fue realizada en Matlab mediante la selección de objeto y agregando la comunicación serial gracias a las librerías que presenta en Arduino y Matlab para sí realizar un óptimo trabajo sencillo y eficaz mediante la programación del control de punto a punto.

Se aplica una comunicación serial entre arduino y Matlab. Arduino envía una señal a Matlab para indicar que está conectada para realizar algún trabajo. Cuando se colocan los datos para los ejes tanto X, Y o Z, la interfaz le envía una señal a la arduino para que a su vez mueva los motores a la posición correspondiente.

En este proyecto se implementara un código similar al lenguaje de maquina (Código G) para el prototipo de la máquina herramienta que se está realizando. Lo único que se diferencia al código de maquina es que el algoritmo es manejado por un control punto a punto o dicho de otra forma de posicionamiento y no se realiza con los comando G, M, F, S y T, solamente tomando las coordenadas X-Y-Z y ajustando su velocidad de acuerdo a los valores de presión de corte del material a usar.

Figura 84. Interfaz de manejo del prototipo.



Fuente: elaboración propia realizada en Matlab 2017.

Al realizar la interfaz del proyecto en Matlab es adecuado para este prototipo y como prueba ya que puede generar la información de la ubicación de los ejes de acuerdo al uso del workspace que presenta este programa indicando cada tramo

de trabajo realizado, en el cual el código realiza la información de los ejes X-Y-Z actual con respecto de la última posición, la cual convierte estos datos en cantidad de pasos para cada motor y establece una dirección, luego se quedan almacenados en los valores de las coordenadas ingresada en el workspace de Matlab para no generar pérdidas de información y así él realiza otra variable de posición para que la rutina sepa en cada momento en donde se encuentra cada eje y la actualiza para que pueda realizar la siguiente posición de trabajo. Se realizó esta interfaz en Matlab ya que es un programa muy amigable con el usuario.

Como es un proyecto de grado y a la vez un prototipo, en un futuro esta interfaz será mejorada al igual que el programa para que el personal pueda ejecutar mediante un software en código Java o Visual Basic realizando el diseño de dicha herramienta y la interconexión que se encuentra al realizarlo por comunicación serial junto con otros materiales que se implementará a la máquina para que pueda dar un gran aporte y así realizar trabajos más precisos y eficaz utilizando los otros tipos de control ya mencionados para que sea más llamativa al usuario.

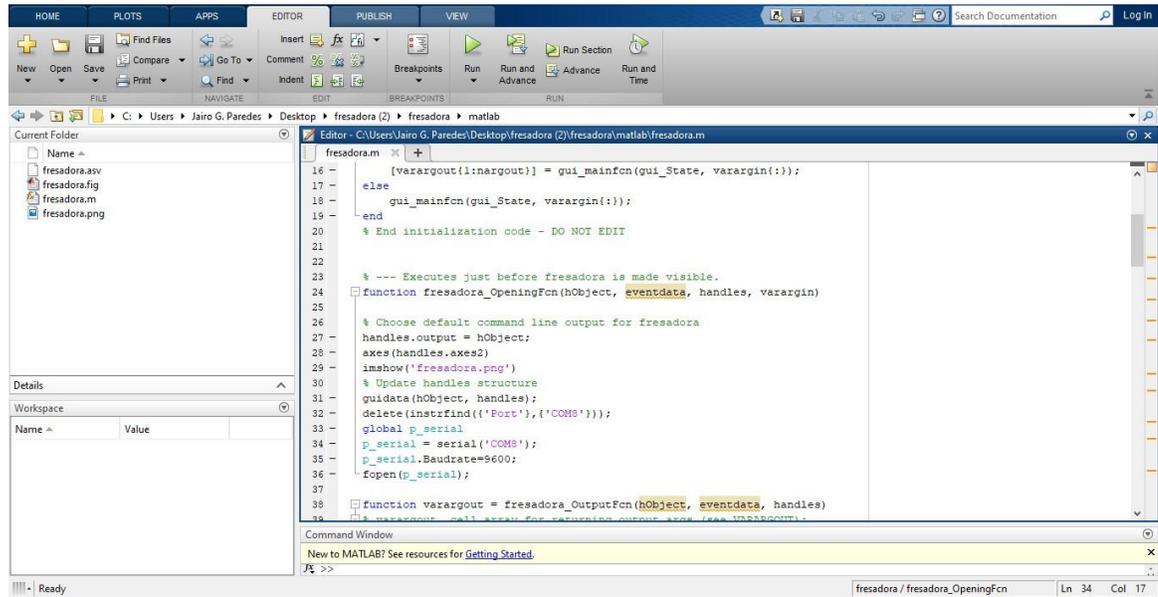
En el capítulo siguiente se mostrara el código a demostrar para esta tesis de grado de pasantía.

14.10.6. Código.

El código a presentar para realizar los movimientos del prototipo de fresadora CNC portable controlado mediante el sistema de control punto a punto en pocas palabras de posicionamiento se puede encontrar en el anexo 8 “Interfaz del prototipo” y en el anexo 9 “Arduino”. La figura 85 presenta la venta del software de Matlab y parte del algoritmo realizado el cual es para la interfaz del proyecto con la comunicación serial para Arduino, en el cual el capítulo “14.10.5. Interfaz de manejo de la maquina” se presenta todo la teoría a realizar de dicho programa para el prototipo.

A continuación se presentara parte del código a manejar en el entorno de trabajo que presenta en Matlab y Arduino:

Figura 85. Código presentado en Matlab.



Fuente: elaboración propia realizada en Matlab.

Se presenta parte del código realizado en Matlab en la cual indica la función de la comunicación serial con Matlab y Arduino.

Figura 86. Algoritmo de comunicación serial Matlab-Arduino.

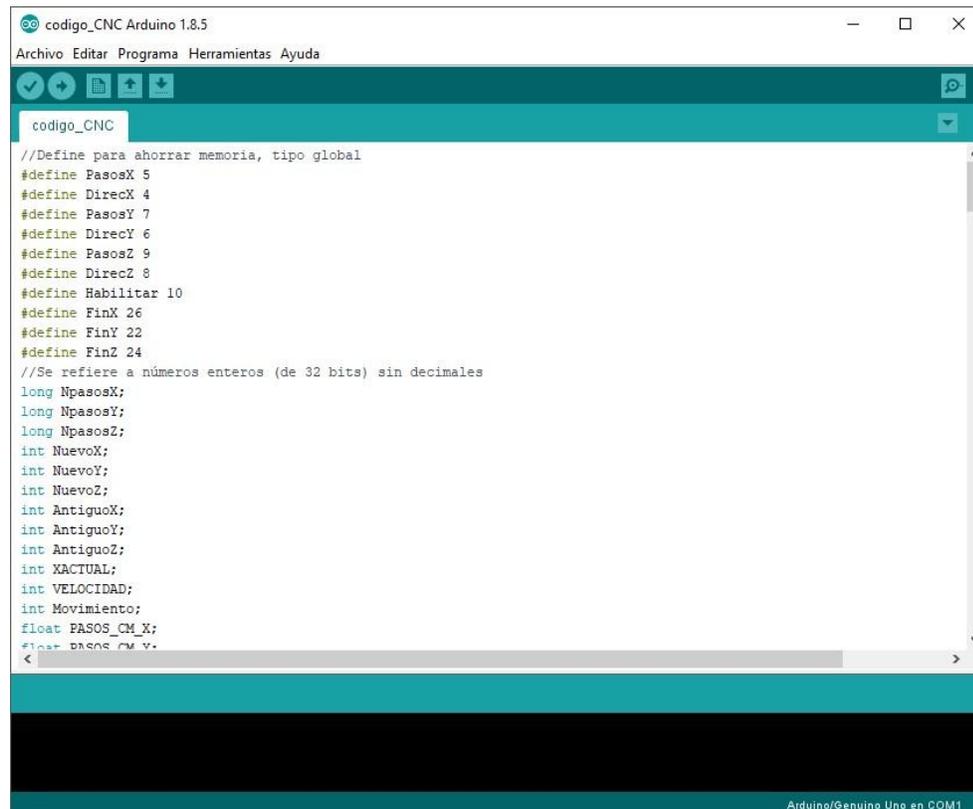
```
function fresadora_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

% Choose default command line output for fresadora
handles.output = hObject;
axes(handles.axes2)
imshow('fresadora.png')
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
delete(instrfind({'Port'}, {'COM8'}));
global p_serial
p_serial = serial('COM8');
p_serial.Baudrate=9600;
fopen(p_serial);
```

Fuente: elaboración propia realizada en Matlab.

Seguidamente se muestra parte del código realizado en Arduino.

Figura 87. Código presentado en el software de Arduino.



```
codigo_CNC
//Define para ahorrar memoria, tipo global
#define PasosX 5
#define DirecX 4
#define PasosY 7
#define DirecY 6
#define PasosZ 9
#define DirecZ 8
#define Habilitar 10
#define FinX 26
#define FinY 22
#define FinZ 24
//Se refiere a números enteros (de 32 bits) sin decimales
long NpasosX;
long NpasosY;
long NpasosZ;
int NuevoX;
int NuevoY;
int NuevoZ;
int AntiguoX;
int AntiguoY;
int AntiguoZ;
int XACTUAL;
int VELOCIDAD;
int Movimiento;
float PASOS_CM_X;
float PASOS_CM_Y;
```

Fuente: elaboración propia realizada en el software de Arduino.

Como se explicó en el apartado anterior este código se realizará en conjunto a la interfaz realizada en Matlab de acuerdo a la comunicación serial que se presenta entre ellos, enviando señales de sistema de control lazo cerrado en donde se presenta una retroalimentación para indicar que está funcionando a un trabajo ideal.

Figura 88. Código de los pasos de la CNC en Arduino.

```
codigo_CNC Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
codigo_CNC
attachInterrupt(0, ai0, RISING); //Declaración de las interrupciones cuando la señal pase de un estado LOW a HIGH
attachInterrupt(1, ai1, RISING); //Declaración de las interrupciones cuando la señal pase de un estado LOW a HIGH
attachInterrupt(5, ai2, RISING); //Declaración de las interrupciones cuando la señal pase de un estado LOW a HIGH
//Se inician variables en cero
AntiguoX= 0;
AntiguoY= 0;
AntiguoZ= 0;
//Ganancias de pasos x cm en cada eje
PASOS_CM_X=417;
PASOS_CM_Y=333.3;
PASOS_CM_Z=333.3;
}
void loop() {}
// if(Serial.available()){ //--bucle lectura del serial lectura del monitor serial de arduino o bluetooth
//const char var = Serial.read(); //--la lectura del puerto serial es almacenada en var
//Funciones
void serialEvent() {
if(Serial.available()){ //Rutina que se activa cuando hay datos disponibles en el puerto serial
NuevoX=Serial.parseInt(); //se asigna el valor recibido desde el puerto serial a cada una de las
NuevoY=Serial.parseInt(); //coordenadas y el valor para establecer la velocidad
NuevoZ=Serial.parseInt(); //de los ejes
VELOCIDAD=Serial.parseInt();
//Se calcula cuánto debe volver cada eje respecto al dato de coordenada anterior
int XACTUAL= AntiguoX-NuevoX;
int YACTUAL= AntiguoY-NuevoY;
int ZACTUAL= AntiguoZ-NuevoZ;
//Se establece el valor de Movimiento que controla la velocidad de giro dependiendo del valor enviado desde el pue
```

Fuente: elaboración propia realizada en arduino.

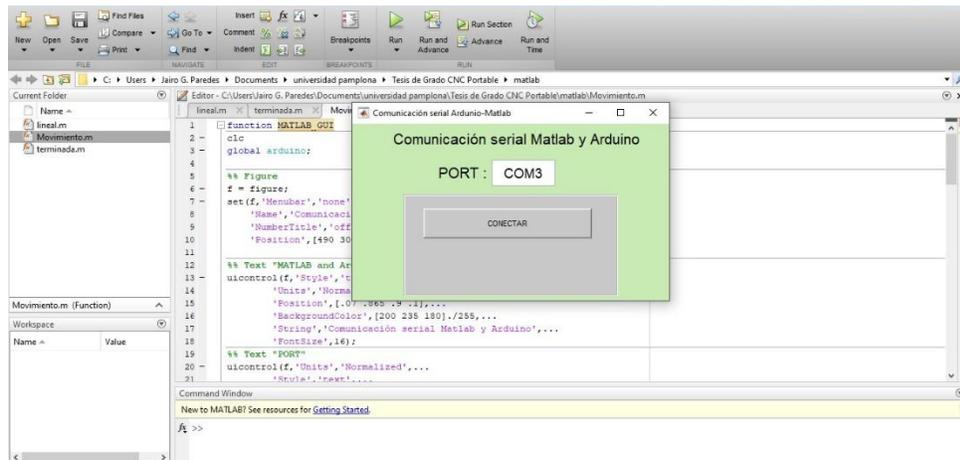
14.10.7. Prueba de laboratorio.

Se efectúan pruebas de laboratorio para validar la programación realizada y que esta se demuestre que funcione en la vida real. Lo primero que se realizó es descargar las librerías para la comunicación serial entre Arduino y Matlab, seguidamente se realiza experimentos para su comprobación.

El primer algoritmo trata del actuador lineal para verificar si está funcionando o no, y se efectuó una interfaz en Matlab a parte del ejecutado, ya que es para probar si la programación elaborada tanto en arduino como en Matlab sirva su comunicación serial y movimiento del motor. Se toma parte del código realizado en arduino para el movimiento de él en el cual solo va a enviar 0 o 1. Cuando envía

uno de estos valores en la interfaz gráfica este los tiene que leer y transmitirlos a la máquina, se ingresa el puerto en donde está conectada la Arduino para realizar el trabajo de dicho actuador.

Figura 89. Prueba 1 Interfaz en Matlab.



Fuente: elaboración realizada en Matlab.

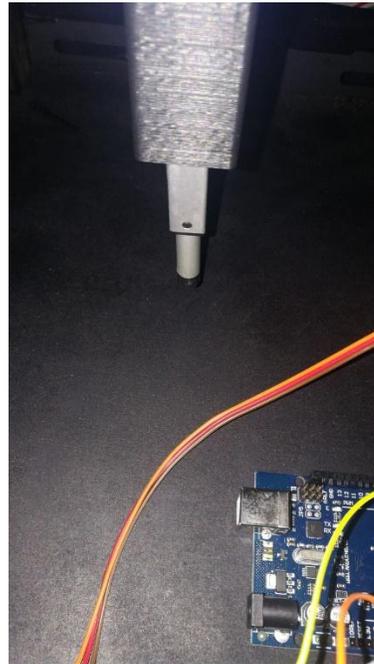
Figura 90. Prueba 1 Interfaz para mover el actuador lineal.



Fuente: elaboración propia realizada en Matlab.

Se realizó esta prueba en una pequeña maqueta en el cual tiene un actuador lineal y lo que hacemos es enviarle un 0 o 1 y esto es lo que genera el movimiento de él.

Figura 91. Prueba 1 actuador lineal.

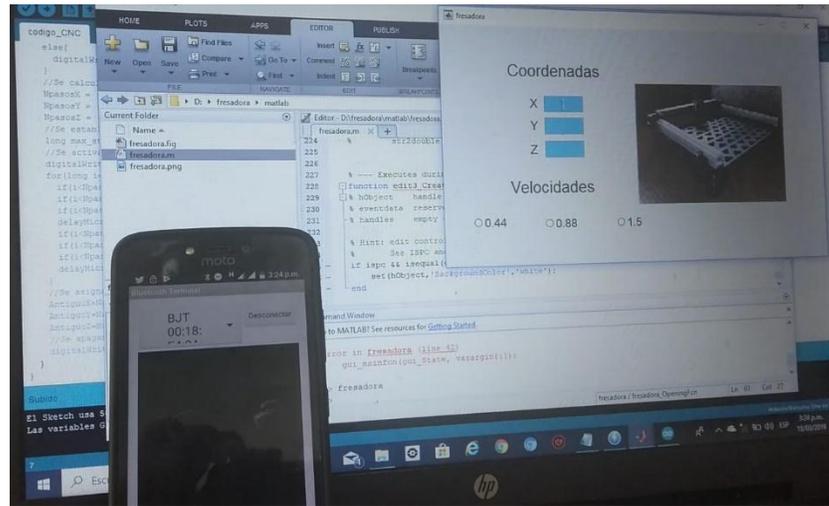


Fuente: elaboración propia tomada en una maqueta con actuador lineal.

En esta prueba de laboratorio se ejecuta para validar la información teniendo en cuenta que se realiza una interfaz totalmente ajena a la del prototipo de fresadora CNC portable a cumplir, su código de programa hecho en Matlab lo puede encontrar en el apartado de anexos en la cual tiene como número 10.

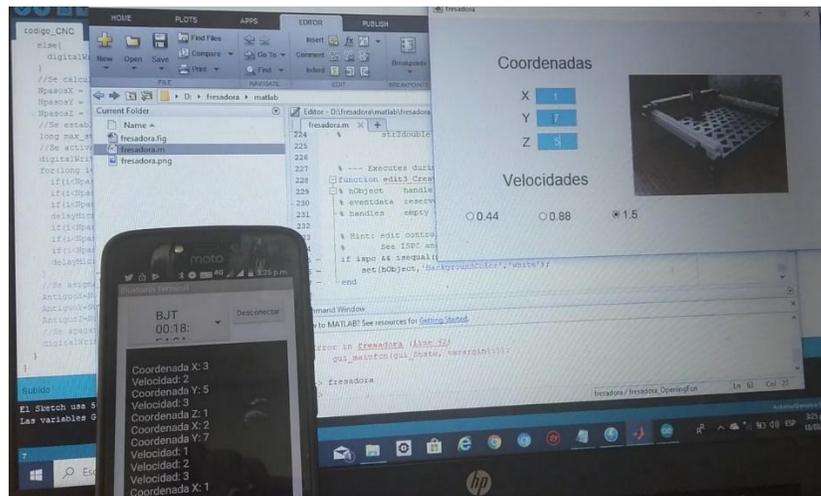
La segunda prueba se realiza con la interfaz del prototipo en el cual se efectúa una comunicación vía Bluetooth, mediante la comunicación serial de Matlab-Arduino, esto es para verificar que se envía una señal dada desde la interfaz hecha para que pueda interpretar la maquina u objeto a implementar, en este caso se realizó por medio de un celular.

Figura 92. Prueba 2 comunicación serial vía Bluetooth sin datos.



Fuente: elaboración propia.

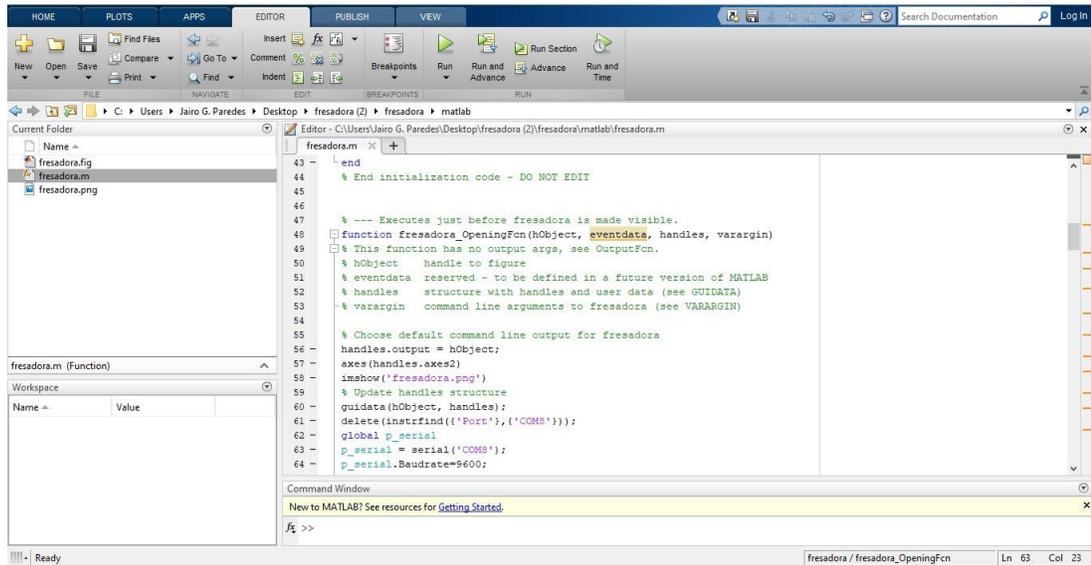
Figura 93. Prueba 2 Comunicación serial vía Bluetooth con datos.



Fuente: elaboración propia.

Como se pudo observar detalladamente muestra los datos enviados desde la interfaz al celular el cual da una buena interpretación de que está funcionando el programa realizado, el software utilizado en el celular fue descargado desde "Play Store" con el nombre de Bluetooth Terminal, en el cual es un terminal de envío y datos de control del sistema embebido para módulos Bluetooth HC-05 y HC-06.

Figura 94. Prueba 2 código realizado vía Bluetooth en Matlab.



Fuente: elaboración propia realizada en Matlab.

Figura 95. Código de comunicación vía Bluetooth en Arduino.

```
void setup() {
  //servoLineal.attach(pinServo);
  myStepper1.setSpeed(200); //Establece la velocidad en rpm
  myStepper2.setSpeed(200);
  Serial.begin(9600); //se inicia la comunicación Serial a 9600 Bdu
  seriala.begin(9600);
  pinMode(DirecX, OUTPUT); //Activa los pines para los motores paso a paso como salidas
  pinMode(PasosX, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(DirecY, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(PasosY, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(DirecZ, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(PasosZ, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(Habilitar, OUTPUT); //Pin de salida
  digitalWrite(Habilitar, LOW); //Pin de salida
  delay(5);
}

void loop() {
  serialEvent();
}

// if(Serial.available()){ //--bucle lectura del serial lectura del monitor serial de arduino o bluetooth
//const char var = Serial.read();} //----la lectura del puerto serial es almacenada en var
//Funciones
void serialEvent(){
  if(Serial.available()){ //Rutina que se activa cuando hay datos disponibles en el puerto serial
    char dato = Serial.read();
    if(dato=='X'){
      NuevoX=Serial.parseInt();
      seriala.print("Coordenada X: ");
      seriala.println(NuevoX);
    }else if(dato=='Y'){
      NuevoY=Serial.parseInt();
      seriala.print("Coordenada Y: ");
      seriala.println(NuevoY);
    }else if(dato=='Z'){
      NuevoZ=Serial.parseInt();
      seriala.print("Coordenada Z: ");
      seriala.println(NuevoZ);
    }else if(dato=='V'){
      VELOCIDAD=Serial.parseInt();
      seriala.print("Velocidad: ");
      seriala.println(VELOCIDAD);
    }
  }
}
```

Fuente: elaboración propia realizada en Arduino.

Esta prueba se realiza para corroborar la interfaz que se presenta en el proyecto para que pueda mover la máquina, tanto el algoritmo hecho en Matlab y arduino se encuentra en el anexo 8 y 11 sucesivamente.

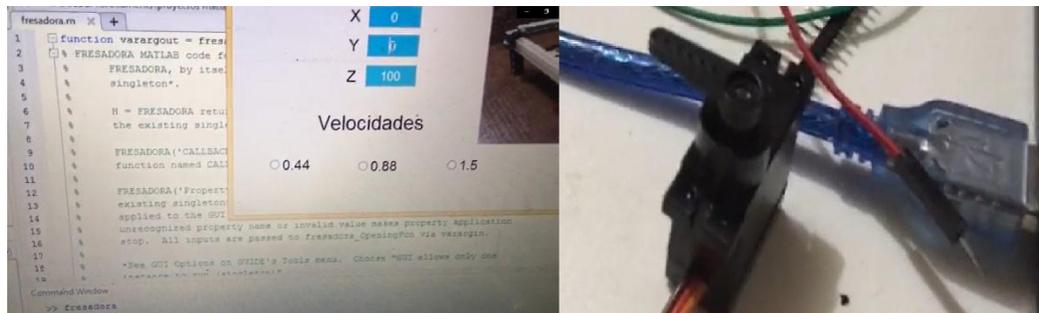
En la tercera prueba se realizó el movimiento de un servo motor para comprobar que se le puede enviar información a los motores de la maquina.

Figura 96. Prueba 3 vista del servo-motor con interfaz en posición 0.



Fuente: elaboración propia.

Figura 97. Prueba 3 vista del servo-motor con interfaz en posición 100.



Fuente: elaboración propia.

Como se pudo observar, realiza el movimiento en este caso los grados del servo-motor de acuerdo al dato enviado desde la interfaz hecha en Matlab mediante la comunicación serial que existe con Arduino.

El Código elaborado en Matlab se encuentra en el anexo 8 ya que este mismo algoritmo sirvió para las 2 pruebas ultimas realizadas y el de arduino se encuentra en el anexo 9 y su información en el capítulo “14.10.6. Código”.

Figura 98. Código realizado en Matlab.

```
function varargout = fresadora(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @fresadora_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @fresadora_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before fresadora is made visible.
function fresadora_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

% Choose default command line output for fresadora
handles.output = hObject;
axes(handles.axes2)
imshow('fresadora.png')
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
delete(instrfind({'Port'}, {'COM8'}));
global p_serial
p_serial = serial('COM8');
p_serial.Baudrate=9600;
fopen(p_serial);

function varargout = fresadora_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
```

Fuente: elaboración propia realizada en Matlab.

En la cuarta prueba se realizó el movimiento de un motor paso a paso Nema 17 Bipolar en un solo eje para comprobar que se le puede enviar información mediante la comunicación serial Arduino-Matlab a estos actuadores.

Figura 99. Prueba 4 Movimiento 1 de un motor PaP.



Fuente: elaboración propia.

Figura 100. Prueba 4 Movimiento 2 de un motor PaP.

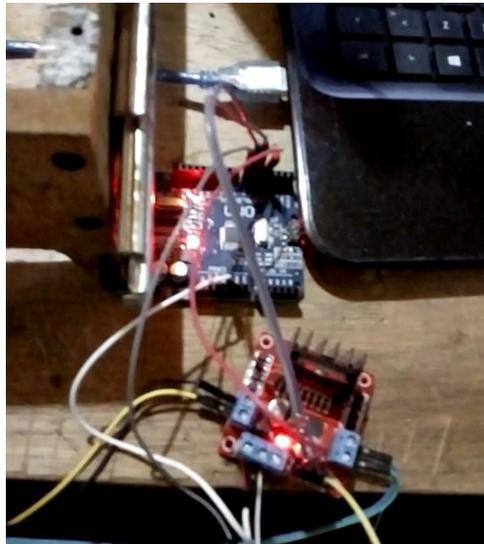


Fuente: elaboración propia.

Esto es debido gracias al módulo L298N que hace comunicación con el motor a funcionar, el código hecho en Arduino y la interfaz realizada en Matlab, el actuador

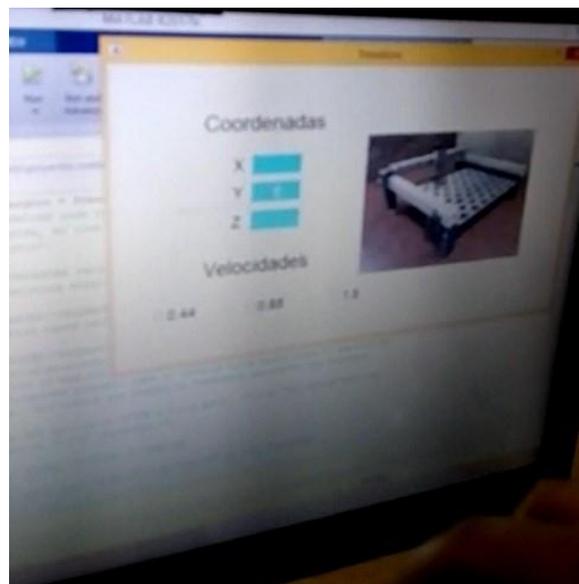
se conecta a un tornillo que hace la función de un sin fín y se ubica en el plano de acuerdo a las coordenadas realizadas por el operario.

Figura 101. Prueba 4 Conexión Arduino con Módulo L298N.



Fuente: elaboración propia.

Figura 102. Prueba 4 interfaz realizada en Matlab.



Fuente: elaboración propia.



Estas pruebas se realizaron para verificar que la interfaz, la comunicación serial entre Matlab-Arduino y los algoritmos realizados puedan ejecutar los movimiento de los motores que se implementara en el proyecto del prototipo de fresadora CNC portable cuando este sea construido.

DCS is member of:



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK



**Formando líderes para la construcción de un
nuevo país en paz**

15.IMPACTOS Y PRESUPUESTO.

A continuación se presenta unos impactos esperados después finalizar la tesis de acuerdo a las investigaciones y resultados realizados del proyecto como tal.

Estos impactos fueron establecidos de acuerdo al entorno de trabajo en que se realizará el prototipo, hubo algunos problemas a su realización pero todo fue solucionado en un entorno profesional.

Tabla 23. Impactos esperados después de finalizar la tesis de grado.

Impactos	Plazo	Indicador	Supuestos
Sociales	6	(Cantidad de empresas pymes con CNC/Cantidad de empresas pymes industriales)*100%	Debido a que se puede obtener a un costo módico genera un impacto de equidad social de las empresas.
Económicos	6	(Costo total de producto con CNC/Costo total de productos incluye CNC y sin CNC)*100%	Mejora en la rentabilidad de los productos que pueden ser ejecutados por medio del CNC.
Productividad	6	(Cantidad de productos producidos con CNC/Cantidad de productos)*100	Implementado en las industrias.
Competitividad	6	(Cantidad de empresas con CNC/Cantidad de empresas en el mercado)*100%	Competidores con CNC, mejora del proceso productivo.

Fuente: de elaboración propia.

15.1. Presupuesto.

A continuación, se presenta el presupuesto de la construcción del prototipo de la fresadora CNC portable, con cifras aproximadas de acuerdo a las cotizaciones realizadas en el medio.

Cabe destacar que algunos materiales fueron de realización propia que el prototipo necesitaba que no se podían encontrar en el mercado ya que genera un impacto importante en él, era accesible a mi presupuesto y fácil de elaborar, se realizó en el taller de PedriTorno el cual fue el rodamiento de fijación que se usó un taladro de árbol cambiando su herramienta por uno de prensado (Figura 45) para ajustar el acople que conecta el eje del motor junto con la varilla trapezoidal a usar. Se implementara un motor de fresado para este proyecto en el presupuesto y la mano de obra realizada en el prototipo de fresadora CNC portable en esta tesis de grado de pasantía, todo estos valores serán realizados en pesos colombiano.

Tabla 24: Presupuesto de la tesis de grado.

Presupuesto Mecánico				
Nombre	Cantidad	Precio Unidad	Envío	Total
Soporte laterales del eje X	2	\$ 150.000,00	\$ 5.000,00	\$ 305.000,00
Soporte de base del eje X	4	\$ 140.000,00	\$ 5.000,00	\$ 565.000,00
Base de mesa de trabajo del eje X	5	\$ 160.000,00	\$ 5.000,00	\$ 805.000,00
Soporte para motor del eje X	2	\$ 100.000,00	\$ 5.000,00	\$ 205.000,00
Soporte para varilla trapezoidal del eje X	2	\$ 100.000,00	\$ 5.000,00	\$ 205.000,00
Brazo eje Y	1	\$ 220.000,00	\$ 5.000,00	\$ 225.000,00
Soporte para motor del eje Y	1	\$ 90.000,00	\$ 5.000,00	\$ 95.000,00
Soporte para varilla trapezoidal del eje Y	1	\$ 40.000,00	\$ 5.000,00	\$ 45.000,00
Base inmóvil eje Z	1	\$ 180.000,00	\$ 5.000,00	\$ 185.000,00
Soporte del motor de fresado eje Z	1	\$ 100.000,00	\$ 5.000,00	\$ 105.000,00
Acople de nailon de 10mm	7	\$ 40.000,00	\$ -	\$ 280.000,00
Rodamiento con acople rigido de Nailon	2	\$ 45.000,00	\$ -	\$ 90.000,00
Soporte para motor PaP Nema 23	3	\$ 20.124,00	\$ -	\$ 60.372,00
Varilla roscada trapezoidal de 8mm a 1000mm	3	\$ 52.006,27	\$ -	\$ 156.018,81
Rodamiento 608Z	2	\$ 2.599,00	\$ -	\$ 5.198,00
Total				\$ 3.331.588,81

Presupuesto Electrónico				
Nombre	Cantidad	Precio Unidad	Envío	Total
Nema 23 9Kg	3	\$ 134.079,00	\$ -	\$ 402.237,00
actuador lineal 12V 200N	1	\$ 104.672,89	\$ 10.028,30	\$ 114.701,19
Módulo L298N	4	\$ 7.797,00	\$ -	\$ 31.188,00
Finales de carrera	6	\$ 809,00	\$ -	\$ 4.854,00
Arduino uno Rev3 con conector USB	1	\$ 24.504,00	\$ -	\$ 24.504,00
Jumpers Macho-Hembra	20	\$ 75,00	\$ -	\$ 1.500,00
Fuente de alimentación de 12V a 15A	1	\$ 78.000,00	\$ -	\$ 78.000,00
Spindle 200W	1	\$ 152.000,00	\$ -	\$ 152.000,00
PCB (baquelita virgen) 100mm X 150mm	1	\$ 5.165,00	\$ -	\$ 5.165,00
Total				\$ 814.149,19

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES.

Con este proyecto se pretende mejorar el proceso productivo del Taller PedriTorno, a través de la implementación de un nuevo método con la realización del diseño de un prototipo de fresadora CNC portable, para que de esta manera se incrementen las unidades disponibles para venta y a su vez generen mayores rentabilidades a estas.

Con la elaboración del diseño del prototipo de fresadora CNC portable se pretende disminuir costos al taller, ya que es una empresa aun pequeña que requiere de la optimización de los costos para que se generen mayores beneficios.

Se realizó una interfaz sencilla para que el operador pueda manejar la maquina fácilmente en el cual genera una respuesta adecuada gracias a su control de trabajo por posicionamiento y la comunicación dada con Arduino-Matlab.

En el prototipo de fresadora CNC portable se aplicarán todos los conocimientos adquiridos durante la carrera con la idea de generar próximas experiencias en relación con el diseño de este tipo de máquinas desde la aplicación de software, la realización de la misma con diferentes materiales y mejorando su esquema.

La simulación ofrece herramientas interesantes para modelar procesos que por su naturaleza son posibles en la realidad. Con métodos rigurosos de modelación, los cuales incluyen la validación de los diseños realizados, es posible apoyar la toma de decisiones para la producción de este proyecto de construcción y se ha comprobado una muy buena precisión en los diseños.

De acuerdo con las pruebas de laboratorio realizadas se pudo concluir que la comunicación entre el controlador, programas y actuadores el proyecto puede llevarse a la realidad.

RECOMENDACIONES.

A partir de este trabajo pueden resultar múltiples investigaciones, ya que en el diseño de este tipo de maquinaria pueden surgir varios interrogatorios de acuerdo a la empresa a la cual va dirigida el diseño y la realización del prototipo de fresadora, teniendo en cuenta las necesidades de la empresa.

Por otro lado este tipo de ideas abren paso al reconocimiento de la ingeniería colombiana, buscando la oportunidad de generar patentes que no solo beneficien a empresas de la región o del país sino también a entidades del exterior. Es importante considerar que las buenas investigaciones requieren de tiempo prudenciales para poder acceder a la financiación de entidades que permitan que los proyectos trasciendan.

Hay que tecnificarse para poder competir en este mundo tan tecnológico que avanza cada momento, se le recomienda a las pequeñas y medianas empresas que se tecnifiquen en el mercado de la oferta y demanda.

Una recomendación de esta tesis, es la estrategia que puede ofrecer la simulación virtual, donde buscamos aportarle al usuario un modelo que los apoye en sus decisiones seleccionando variables de alto impacto dentro del diseño del prototipo de fresadora CNC portable, para cuando se tomen decisiones, produzcan algún cambio significativo en el cual les permitirá identificar la situación del proyecto en relación con el mercado.

REFERENCIAS.

- Aeromodelismo fácil. *aeromodelismofacil.com*. 2008.
http://www.aeromodelismofacil.com/construccion_fresadora.htm.
- Aguinaga, Alvaro Enrique. «Flujo de procesamiento de una máquina CNC.» En *Integración CAD-CAM-CIM*, de Alvaro Enrique Aguinada, 15. Ecuador, 2013.
- Aguinaga, Alvaro Enrique. «Flujo de procesamiento de una máquina CNC.» En *Integración CAD-CAM-CIM*, de Alvaro Enrique Aguinaga, 15. Ecuador, 2013.
- Aguinaga, Enrique. «Dialnet.» 2018.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=814104>.
- Alain. 2008.
- Arduino. *Arduino*. 2019. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- ATOM, Electronic LAB. *ATOM Electronic Lab*. 2016.
<http://atomelectroniclab.blogspot.com/2016/03/acerca-de-nosotros.html>
(último acceso: 2018).
- Autodesk. *Autodesk Knowledge Network*. s.f.
https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad-civil-3d?_ga=2.258769994.1982954516.1536248640-1225887606.1536248640&sort=score.
- Autodesk Software de Diseño. *Autodesk*. s.f.
<https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-software>.
- Bigtronica. *Bigtronica soluciones electrónicas*. s.f.
https://www.bigtronica.com/centro/sistemas-arduino/tarjetas-arduino/8-arduino-uno-r3-5053212000080.html?search_query=arduino&results=165.
- . *Bigtronica soluciones electrónicas*. s.f.
https://www.bigtronica.com/centro/motores/drivers/162-driver-controlador-de-motores-l298n-5053212001629.html?search_query=L298N&results=1.
- . *Bigtronica soluciones electrónicas*. s.f.
<https://www.bigtronica.com/centro/motores/paso-a-paso/453-motor-paso-a-paso-hibrido-nema-23-9kg-cm-5053212004538.html>.
- . *Bigtronica soluciones electrónicas*. s.f.
<https://www.bigtronica.com/centro/componentes-mecanicos/suiches->

pulsadores/1099-microsuiche-lengueeta-3a-250vac-5053212010997.html?search_query=final+de+carrera&results=7.

— *Bigtronica soluciones electrónicas.* s.f.
https://www.bigtronica.com/centro/adaptadores-y-fuentes-de-voltaje/1458-fuente-suicheada-12v-15a-180w-5053212014582.html?search_query=fuente+de+suicheada+12v&results=9.

BricoGeek. *BricoGeek.* s.f. https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/422-motor-paso-a-paso-9-kg-cm.html?search_query=nema+23&results=12.

bricotodo.com. «bricotodo.com.» s.f. <http://www.bricotodo.com/fresar.htm>.

Business Colombia. «Business Colombia.» Salario, Colombia, 2015.

Cantabria, Universidad de. «Ciencia y tecnología de los materiales.» *Elasticidad Ley de Hooke.* 2015.
<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1382/course/section/1737/Tema2.pdf>.

Castillo R., Felipe D. «Programación Automática de Maquinas CNC.» En *Programación Automática de Maquinas CNC*, de Felipe D. Castillo R., 16-17. Facultad de Estudios Superiores Cautitlan: Primera Edición, 2008.

CNC Repowering. *CNC Repowering SAS.* s.f.
<https://cncrepowering.com.co/es/tornillos-de-bolas/70-tornillo-de-bolas-recirculantes-2525.html>.

Consejo Federal de Educación. «Programador y operador de máquinas comandadas a CNC para el conformado de materiales.» 2011.
http://www.me.gov.ar/consejo/resoluciones/res11/149-11_18.pdf.

Coromant, Sandvik. *Sandvik Coromant.* s.f. https://www.sandvik.coromant.com/fr-fr/knowledge/milling/getting_started/machines_for_milling/pages/spindle-orientation-%E2%80%93-horizontal-or-vertical.aspx (último acceso: 21 de Septiembre de 2018).

de *Máquinas y Herramientas.* 08 de Mayo de 2013.
<https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>.

Direct Industry. s.f. <http://www.directindustry.es/prod/knuth-machine-tools/product-27150-447251.html>.

ebay. *ebay.* s.f. <https://www.ebay.com/itm/B-Grade-High-Speed-Linear-Actuator-12V-DC-200N-20kg-Force-Compact-Low-Noise/201926784415?hash=item2f03c6359f:m:mNck1jxCsv2E7pg8t79gy3A:rk:1:pf:0>.

- . *ebay*. s.f. <https://www.ebay.com/itm/8mm-T8-Lead-Screw-200-1000mm-4-Start-Trapezoidal-Acme-Rod-w-Anti-Backlash-Nut/322792060229?hash=item4b27e7f545:m:mccBXkTa0CmfrBcy5sE9vIQ:rk:4:pf:0>.
- El prisma. «634 Tecnología de Control.» s.f. <https://sites.google.com/site/634mantenimiento/tipos-de-cnc>.
- ElectroniLab. *ElectroniLab Ingeniería y Diseño Electrónico*. s.f. <https://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>.
- «Flujo de procesamiento de una máquina CNC.» En *Integración CAD-CAM-CIM*. s.f.
- García, Manuel. *Aula de Programación CNC*. s.f. <http://auladeprogramacioncnc.blogspot.com/search/label/1.07%20Interpolaci%C3%B3n%20Lineal.->.
- . *Aula de Programación CNC*. s.f. <http://auladeprogramacioncnc.blogspot.com/search/label/1.08%20Interpolaci%C3%B3n%20Circular>.
- Gayón López, Fernando. *researchgate*. Mayo de 2016. https://www.researchgate.net/figure/Procesado-y-programacion-en-Unreal-Engine-4-2016-Elaboracion-propia-A-modo-de-esquema_fig3_303882132.
- Groover, Mikell P. «Fundamentos de Manufactura Moderna.» En *Fundamentos de Manufactura Moderna (Tercera Edición)*, de Mikell P. Groover, 888-889. México: MC Graw Hill, 2007.
- Heinrich, Gerling. *Alrededor de las Máquinas-Herramientas*. Barcelona: Reverté S.A., 2006.
- iMachining, SolidCAM. *SOLIDSOLUTIONS; SOLIDWORKS*. 3 de Septiembre de 2015. <https://www.solidolutions.co.uk/solidworks/manufacturing/solidcam/>.
- Kuo, Benjamin K. *Sistemas de Control Automático*. Prentice Hall, 7 edición.
- Macfresa;. «Blogspot.com.» 12 de Febrero de 2015. <http://mapf-02.blogspot.com/2015/02/partes-principales-de-la-fresadora.html>.
- Maquinaria10.com. *Maquinaria10.com*. s.f. <https://maquinaria10.com/fresadoras-madera/proxxon-fresadora-electrica-mf.html>.

- Martinez, Marcos. «docplayer.es.» *Máquinas herramientas II.* s.f. <https://docplayer.es/19991212-Educacion-tecnica-industrial-maquinas-herramientas-ii-apuntes-de-clase-tema-fresadora-universal.html>.
- Mercalux logismarket. s.f. <https://www.logismarket.com.ar/difra-cnc/mini-fresadora-cnc-3d-2/2412759698-1449253222-p.html>.
- Ochoa, O. «Cursos de Mecatrónica.» *Universidad Nacional de Colombia.* 2006. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/> (último acceso: Agosto de 2018).
- Riquelme García, Miguel, y Rosendo Zamora Pedreño . «Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas.» 24 de Agosto de 2014. <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4393/tfg491.pdf;jsessionid=E7E8B4E8C1E1707BCBBD1FE01496B63D?sequence=7>.
- Riquelme García, Miguel, y Rosendo Zamora Pedreño. «Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PBC con plataformas de desarrollo abiertas.» 24 de Agosto de 2014. <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4393/tfg491.pdf;jsessionid=E7E8B4E8C1E1707BCBBD1FE01496B63D?sequence=7>.
- Rodríguez, Licesio J. «Simulación, Método de Montecarlo.» Marzo de 2011. https://previa.uclm.es/profesorado/licesio/docencia/mcoi/tema4_guion.pdf.
- Rolon, Pablo. 634 - *Tecnología de Control.* s.f. <https://sites.google.com/site/634mantenimiento/tipos-de-cnc>.
- Ruland. *Ruland RM 1973.* 2019. <http://espanol.ruland.com/acoplamiento-rigido.asp#acerca-de>.
- SACOR SL;. *FRS-CNC.com.* 08 de Mayo de 2013. <https://frs-cnc.com/productos-cnc/18/8/fresadoras-cnc/serie-smb/mq-smb-3121-detail>.
- Schvab, Luis. «Máquina y herramientas.» 2011. <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/maquinas-y-herramientas.pdf>.
- Simulación, Método de Montecarlo.* s.f.
- SolidWorks, SolidCAM iMachining, y SolidCAM. «SOLIDSOLUTIONS; SOLIDWORKS, Imachin.» *Youtube.* Septiembre de 2015. <https://www.solidolutions.co.uk/solidworks/manufacturing/solidcam/>.
- SolidWorks, 2017. *SolidWork 2017.* s.f.

tecnología-informática.com. *tecnología-informática.com*. s.f. <http://www.tecnologia-informatica.es/wp-content/uploads/2012/09/fresado.png>.

Universal G-Code Sender. s.f. <https://github.com/winder/Universal-G-Code-Sender>.

Universidad Técnica Superior de Ingeniería. *Universidad de Sevilla*. 2010. <https://bib.us.es/ingenieros/>.

Urrego Ospina, Natalia. «Fresado.» *SlideShare*. 2010. <https://es.slideshare.net/nurrego/fresado>.

Vélez de Guevara, Luis. «Sistema de control de lazo cerrado.» s.f. <https://makinandovelez.wordpress.com/2018/02/15/sistemas-de-control-de-lazo-cerrado/>.

Vistrónica. *Vistrónica Tienda Virtual de Electrónica*. 2016. <https://www.vistronica.com/impresora-3d-y-cnc/varillas/varilla-roscada-trapezoidal-8mmx500mm-con-rosc-detail.html>.

—. *Vistrónica Tienda virtual de electrónica*. 2016. <https://www.vistronica.com/impresora-3d-y-cnc/rodamientos/rodamiento-608zz-para-impresora-3d-detail.html>.

—. *Vistrónica Tienda virtual de electrónica*. 2016. <https://www.vistronica.com/robotica/modulo-l298n-para-control-de-motores-detail.html>.

ANEXOS.

ANEXO 1. Códigos G.

G-CODE	FUNCTIONS	G-CODE	FUNCTIONS
G0	Avance Rápido	G53	Moverse en la máquina en coordenadas absolutas
G1	Interpolacion Lineal	G54-G59	Selección del sistema l de coordenadas de trabajo l a 6
G2	Interpolación circular horaria	G61	Modo de parada exacta
G3	Interpolación circular anti-horaria	G64	Modo de Velocidad constante
G4	Temporizacion	G73	Ciclo fijo de taladrado retroceso
G10	Colocar en el origen del programa	G80	Cancelar modo de ciclo fijo
G12	Circular horario	G81	Ciclo fijo de taladrado
G13	Circular antihorario	G82	Ciclo fijo perforacion con temporizacion
G15	Movimiento en coordenadas polares en G0 y G1	G83	Ciclo de taladrado profundo
G16	Cancelar movimiento en coordenadas polares en G0 y G1	G84	Ciclo de roscado con mano
G17	Plano XY seleccionado	G85	Ciclo fijo de escarificado
G18	Plano XZ seleccionado	G86	Parada del cabezal, salida rápida
G19	Plano YZ seleccionado	G87	Ciclo de perforado sencillo
G20	Entrada de datos en pulgadas	G88	Taladrado con tiempo de espera en el fondo
G21	Entrada de datos en milímetros	G89	Profundidad del agujero en el ciclo de perforado
G28	Ir a posicion de referencia cero	G90	Programacion en Coordenadas absolutas
G30	Regresar al segundo punto de referencia	G91	Programacion en Coordenadas incrementales
G28.1	Ejes de referencia	G92	Establecer cordenadas y parametros de compensacion
G31	Sonda Recta	G92.1	Restablecer la compensacion de parametros G92
G40	Cancelar compensación en el corte	G92.2	Compensacion, dejando intactos los parametros G92
G41	Compensación en el corte a la izquierda	G92.3	Recordar G92 a partir de parametros
G42	Compensación en el corte a la derecha	G93	Cordenadas Polares
G43	Compensación en la longitud de la herramienta	G94	F en mm/min
G49	Cancelar compensación en la longitud de la herramienta	G95	F en mm/rev
G50	Cancelar la escala	G98	Vuelta al plano de seguridad
G51	Escala	G99	Vuelta al plano de referencia

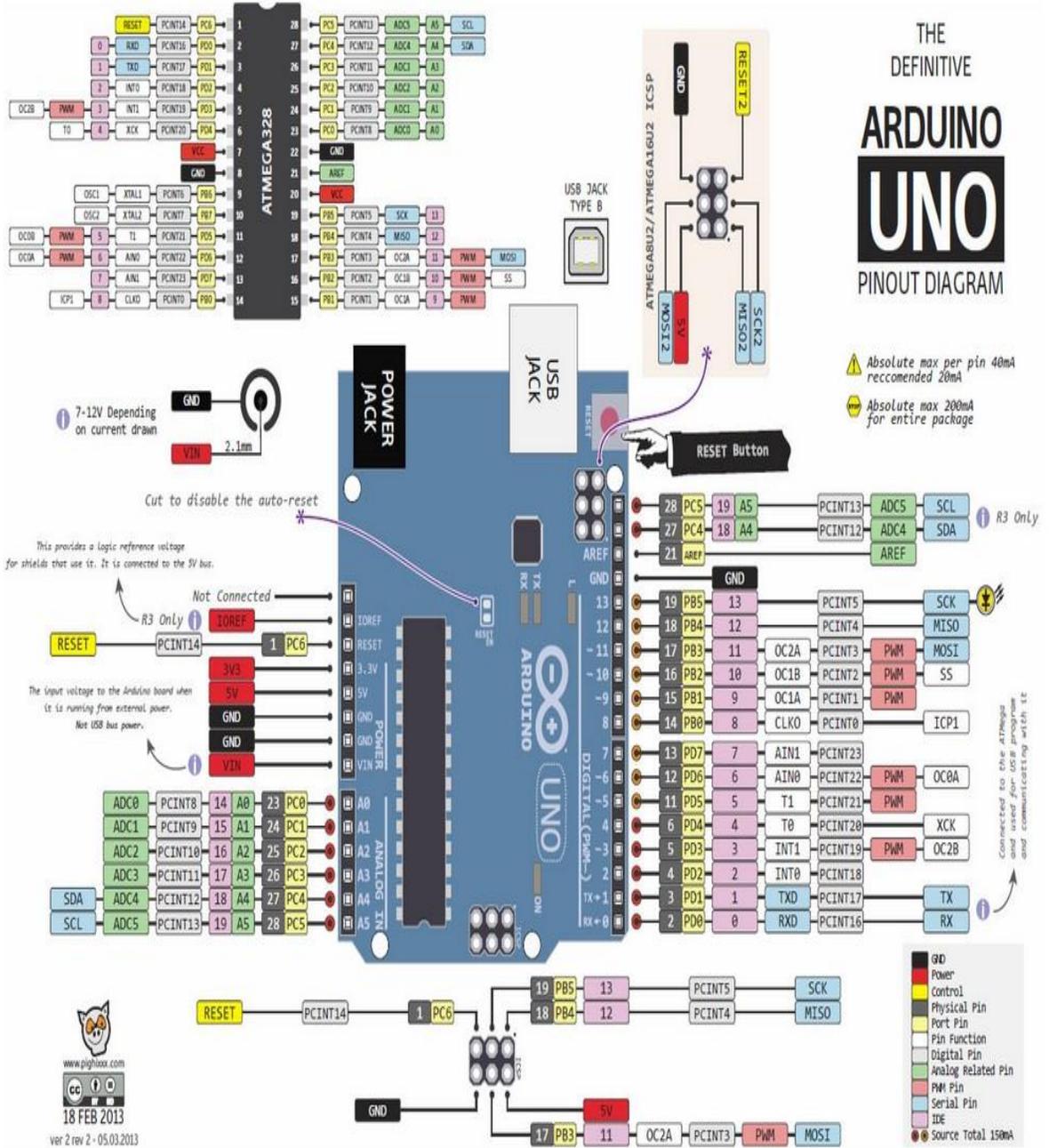
ANEXO 2. Códigos M.

M-CODE	FUNCTIONS
M0	Parada del Programa
M1	Parada condicional del programa
M2	Final del programa
M3	Arranque del husillo en sentido horario
M4	Arranque del husillo en sentido antihorario de herramienta
M5	Parada del husillo
M6	Cambo de herramienta
M7	Refrigerante de niebla
M8	Refrigerante por inmersión
M9	Apagado de todos los refrigerantes
M30	Final del programa con reseteo de variables.
M47	Repetición del programa desde la primera línea
M48	Activar la velocidad de avance y el reemplazo de alimentación
M49	Desactivar la velocidad de avance y el reemplazo de alimentación
M98	Llamar a subrutina
M99	Volver desde la subrutina

ANEXO 3. Gcode tools.

Machine	Model	Maker	Country	Travel(X/Y/Z)	machining accuracy	Qty.	Total
High-speed Processing Center	COMPACT-2215	KEN	Taiwan	2200*1500*1000	0.001	1	10
	RB-212	WELE	Taiwan	2120*1200*800	0.005	1	
	NVD5000r1 HSC 20,000r.p.m	MORI SEIKI	Japan	510*1020*510mm	0.001mm	1	
	MV184d 12,000r.p.m	QUASER	Taiwan	1020*610*610	0.001	1	
	a-T14iDe 24,000r.p.m	FANUC	Japan	400*300*300mm	0.005mm	1	
	a-T14iDe 24,000r.p.m	FANUC	Japan	400*300*300mm	0.005mm	1	
	a-T14iDe 24,000r.p.m	FANUC	Japan	400*300*300mm	0.005mm	1	
	FV102A 12,000r.p.m	YCM	Taiwan	1000*600*550mm	0.01mm	1	
	MV86A 10,000r.p.m	YCM	Taiwan	800*600*600mm	0.01mm	1	
	YCM-NDV66A	YCM	Taiwan	660x510x560mm	0.005mm	1	
EDM Machine	HE130B	HSPK	China	(800+800)*600*400	0.005mm	1	8
	EDGE3S	MAKINO	Japan	800*550*350mm	0.005mm	1	
	EA8M	MITSUBISH	Japan	300*250*250mm	0.01mm	1	
	EA8M	MITSUBISH	Japan	300*250*250mm	0.01mm	1	
	EA12DM	MITSUBISH	Japan	400*300*300mm	0.01mm	1	
	FO 23UP	AgieCharmilles	Switzerland	350*250*200mm	0.005mm	1	
	DE430 / MP50	TOPEDM	Taiwan	400*300*300mm	0.01mm	1	
	ZNC-50	MEUAR	Taiwan	350*250*200mm	0.01mm	1	

Anexo 4. Diagrama de Arduino Uno Rev3.



ANEXO 5. Diseño de motor NEMA 23.

DIMENSIONS

SPECIFICATIONS unit=mm

PHASE	相数	2 PHASE	COMMENT
STEP ANGLE	步距角	1.8±5% ° /STEP	
VOLTAGE	额定电压	3.2V	
CURRENT	电流	2.0 A/PHASE	
RESISTANCE	电阻	1.6±10% Ω/PHASE	
INDUCTANCE	电感	5.5±20% mH/PHASE	
HOLDING TORQUE	静转矩	120 N.cm Min	
DETENT TORQUE	定位转矩	3.5 N.cm Max	
INSULATION CLASS	绝缘等级	B	
LEAD STYLE	引出线规格	AWG22 UL1007	
ROTOR TORQUE	转动惯量	280 g.cm ²	

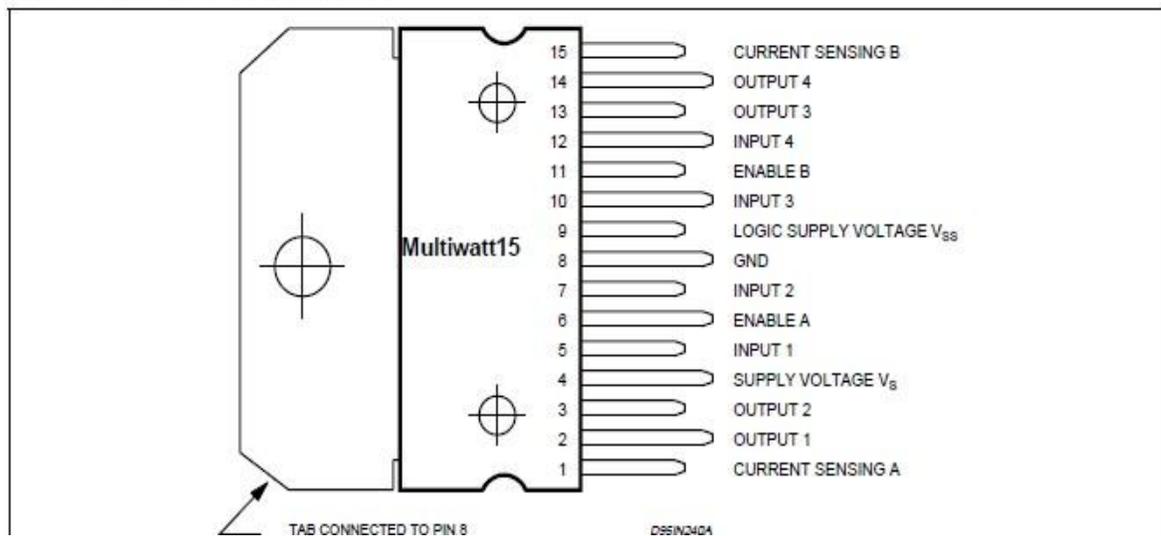
				57BYGH420-2	WANTAI MOTOR	
设计	ANDY	2015.5.7				
				技术规格书	www.wantmotor.com	

ANEXO 6. Módulo L298N.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel) - Non Repetitive ($t = 100\mu s$) - Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$) - DC Operation	3 2.5 2	A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



Anexo 7. Cuadro comparativo de selección de materiales.

	Materiales metálicos			Materiales basados en polímeros	
	Acero	Aluminio	Latón	Termoplástico	Elastómero
	C45E	AlMg0,7Si T6	CuZn30 R480	PE-HD	NR

Composición química	Unidades					
Aluminio	%	-	Resto	≤0,02	-	-
Carbono	C %	0,42÷0,50	-	-	-	-
Cobre	Cu %	-	≤0,10	Resto	-	-
Hierro	Fe %	Resto	≤0,35	-	-	-
Magnesio	Mg %	-	0,45÷0,90	-	-	-
Silicio	Si %	-	0,20÷0,60	-	-	-
Cinc	Zn %	-	≤0,10	29,0÷31,0	-	-
Propiedades físicas	Unidades					
Densidad	Mg/m ³	7,85	2,70	8,53	0,94÷0,96	0,93
Coefficiente dilatación	µm/m-K	12,0	23,5	19,9	200	216
Calor específico	J/kg-K	440	898	375	2100÷2700	2500
Conductividad térmica	W/m-K	50	201	120	0,38÷0,51	0,165
Resistividad eléctrica	Ω-m	150·10 ⁻⁹	33,2·10 ⁻⁹	62·10 ⁻⁹	>10 ¹⁵	10 ¹³ ÷10 ¹⁵
Propiedades mecánicas	Unidades					
Resistencia tracción	MPa	≥620/560	≥245	≥480	18÷35	20÷28
Límite elástico	MPa	≥340/275	≥170	≥430	-	-
Alargamiento rotura	%	≥14/16	≥10	≥2	100÷1000	300÷900
Módulo de elasticidad	GPa	210	69,5	110	0,7÷1,4	0,001÷0,010
Dureza	HB	207	75	150	40÷65 ⁽¹⁾	30÷95 ⁽²⁾
Propiedad. tecnológicas	Unidades					
Coste	€/kg	0,87	4,20	3,80	1,15	1,60
Temperatura de fusión	°C	1520	615÷655	915÷955	160÷200	-
Temp. máxima de uso	°C	450	100÷150	300	70÷80	70÷90

(1) Dureza a la bola (MPa)

(2) Dureza IRHD (≈ Shore A)

Anexo 8. Código del prototipo de fresadora CNC portable en Maltab para interfaz.

Parte 1

```
function varargout = fresadora(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @fresadora_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @fresadora_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before fresadora is made visible.
function fresadora_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

% Choose default command line output for fresadora
handles.output = hObject;
axes(handles.axes2)
imshow('fresadora.png')
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
delete(instrfind({'Port'}, {'COM8'}));
global p_serial
p_serial = serial('COM8');
p_serial.Baudrate=9600;
fopen(p_serial);

function varargout = fresadora_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
```

Parte 2

```
% --- Executes on button press in radiobutton1.
function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton1
set(handles.radiobutton2, 'value',0)
set(handles.radiobutton3, 'value',0)
global p_serial
fprintf(p_serial, '%s', "\n");
fprintf(p_serial, '%i',1);

% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton2
set(handles.radiobutton1, 'value',0)
set(handles.radiobutton3, 'value',0)
global p_serial
fprintf(p_serial, '%s', "\n");
fprintf(p_serial, '%i',2);

% --- Executes on button press in radiobutton3.
function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton3
set(handles.radiobutton1, 'value',0)
set(handles.radiobutton2, 'value',0)
global p_serial
fprintf(p_serial, '%s', "\n");
fprintf(p_serial, '%i',3);

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double
x=get(handles.edit1,'String');
global p_serial
if isempty(x)
    fprintf(p_serial, '%s', "X");
    fprintf(p_serial, '%s', "0");
else
    fprintf(p_serial, '%s', "X");
```

Parte3

```
    fprintf(p_serial, '%s',x);
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
y=get(handles.edit2,'String');
global p_serial
if isempty(y)
    fprintf(p_serial, '%s',"Y");
    fprintf(p_serial, '%s',"0");
else

    fprintf(p_serial, '%s',"Y");
    fprintf(p_serial, '%s',y);
end
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
z=get(handles.edit3,'String');
global p_serial
if isempty(z)
    fprintf(p_serial, '%s',"Z");
    fprintf(p_serial, '%s',"0");
else

    fprintf(p_serial, '%s',"Z");
    fprintf(p_serial, '%s',z);
end
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

Anexo 9. Código del prototipo de fresadora CNC portable en Arduino.

Parte 1

```
//Define para ahorrar memoria, tipo global
#define PasosX 5
#define DirecX 4
#define PasosY 7
#define DirecY 6
#define PasosZ 9
#define DirecZ 8
#define Habilitar 10
#define FinX 26
#define FinY 22
#define FinZ 24
//Se refiere a números enteros (de 32 bits) sin decimales
long NpasosX;
long NpasosY;
long NpasosZ;

int NuevoX;
int NuevoY;
int NuevoZ;
int AntiguoX;
int AntiguoY;
int AntiguoZ;
int XACTUAL;
int VELOCIDAD;
int Movimiento;

float PASOS_CM_X;
float PASOS_CM_Y;
float PASOS_CM_Z;

//Librerias de servo y motor paso a paso de Arduino
#include <Stepper.h>
#include <Servo.h>
//-----variables empleadas para el motor lineal "funciona
como un servo motor"-----
Servo servoLineal;
const int pinServo=2; //-----pin de coneccion para la señal del
servomoto

//-----
const int x1 = 200; // Numero de pasos del motor(x) //(1-3)y(2-4) bobinas
const int y1 = 200; // Numero de pasos del motor(y)

Stepper myStepper1(x1,8,9,10,11); // inicializa la libreria 'stepper' en
los pines 8 a 11
Stepper myStepper2(y1,4,5,6,7);
//-----

void(*resetFunc)(void) =0; //Función de reinicio

void ai0(){
  //Rutina para reiniciar el programa si se activa la interrupción del pin
  2
  resetFunc();
}
```

Parte 2

```
void ai1(){
  //Rutina para reiniciar el programa si se activa la interrupción del pin
  3
  resetFunc(); //call reset
}

void ai2(){
  //Rutina para reiniciar el programa si se activa la interrupción del pin
  18
  resetFunc(); //call reset
}

void setup() {
  servoLineal.attach(pinServo);
  myStepper1.setSpeed(200); //Establece la velocidad en rpm
  myStepper2.setSpeed(200);

  Serial.begin(9600); //se inicia la comunicación Serial a 9600 Bdu
  pinMode(DirecX, OUTPUT); //Activa los pines para los motores paso a paso
  como salidas
  pinMode(PasosX, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(DirecY, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(PasosY, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(DirecZ, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(PasosZ, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(Habilitar, OUTPUT); //Pin de salida
  digitalWrite(Habilitar, LOW); //Pin de salida
  delay(5);
  //Ciclos
  //Rutina de activación de Z cuando el final de carrera de activación esta
  activado
  while (digitalRead(FinZ)) {
    digitalWrite(DirecZ, HIGH);
    digitalWrite(PasosZ, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosZ, LOW);
    delayMicroseconds(900);
  }
  //Rutina de activación de Z cuando el final de carrera de activación NO
  esta activado
  while (!digitalRead(FinZ)) {
    digitalWrite(DirecZ, LOW);
    digitalWrite(PasosZ, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosZ, LOW);
    delayMicroseconds(900);
  }
  if(digitalRead(DirecZ)== HIGH){
    digitalWrite(DirecZ, LOW);
  }
  else{
    digitalWrite(DirecZ, HIGH);
  }
  for (int u=0; u<200; u++){
    digitalWrite(PasosZ, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosZ, LOW);
    delayMicroseconds(900);
  }
}
```

Parte 3

```
//Ciclo de activación eje Y
while (!digitalRead(FinY)) { //Rutina de activación de Y cuando el final
de carrera de activación esta activado
    digitalWrite(DirecY, HIGH);
    digitalWrite(PasosY, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosY, LOW);
    delayMicroseconds(900);
}
while (!digitalRead(FinY)) { //Rutina de activación de Y cuando el final
de carrera de activación no esta activado
    digitalWrite(DirecY, LOW);
    digitalWrite(PasosY, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosY, LOW);
    delayMicroseconds(900);
}
if(digitalRead(6)== HIGH){
    digitalWrite(DirecY, LOW);
}
else{
    digitalWrite(DirecY, HIGH);
}
for (int u=0; u<200; u++){
    digitalWrite(PasosY, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosY, LOW);
    delayMicroseconds(900);
}
//Ciclo activación X
while (digitalRead(FinX)) { //Rutina de activación de X cuando el
final de carrera de activación esta activado
    digitalWrite(DirecX, HIGH);
    digitalWrite(PasosX, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosX, LOW);
    delayMicroseconds(900);
}
while (!digitalRead(FinX)) { //Rutina de activación de X cuando el
final de carrera de activación NO esta activado
    digitalWrite(DirecX, LOW);
    digitalWrite(PasosX, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosX, LOW);
    delayMicroseconds(900);
}
if(digitalRead(DirecX)== LOW){
    digitalWrite(DirecX, HIGH);
}
else{
    digitalWrite(DirecX, LOW);
}
for (int u=0; u<200; u++){
    digitalWrite(PasosX, HIGH);
    delayMicroseconds(900);
    digitalWrite(PasosX, LOW);
    delayMicroseconds(900);
}
//Para el consumo de corriente
digitalWrite(Habilitar,HIGH); //Se apagan los drivers de los motores
para evitar el calentamiento y consumo inecesario de energía
```

Parte 4

```
    delay(10);
    attachInterrupt(0, ai0, RISING); //Declaración de las interrupciones
    cuando la señal pase de un estado LOW a HIGH
    attachInterrupt(1, ai1, RISING); //Declaración de las interrupciones
    cuando la señal pase de un estado LOW a HIGH
    attachInterrupt(5, ai2, RISING); //Declaración de las interrupciones
    cuando la señal pase de un estado LOW a HIGH
    //Se inician variables en cero
    AntiguoX= 0;
    AntiguoY= 0;
    AntiguoZ= 0;
    //Ganancias de pasos x cm en cada eje
    PASOS_CM_X=417;
    PASOS_CM_Y=333.3;
    PASOS_CM_Z=333.3;
}

void loop() {

// if(Serial.available()){ //--bucle lectura del serial lectura del monitor
serial de arduino o bluetooth
    //const char var = Serial.read();} //--la lectura del puerto serial
es almacenada en var
//Funciones
void serialEvent()
{
    if(Serial.available()){ //Rutina que se activa cuando hay datos
    disponibles en el puerto serial
        NuevoX=Serial.parseInt(); //se asigna el valor recibido desde el
    puerto serial a cada una de las
        NuevoY=Serial.parseInt(); //coordenadas y el valor para establecer
    la velocidad
        NuevoZ=Serial.parseInt(); //
        VELOCIDAD=Serial.parseInt();
    //Se calcula cuánto debe volver cada eje respecto al dato de coordenada
    anterior
        int XACTUAL= AntiguoX-NuevoX;
        int YACTUAL= AntiguoY-NuevoY;
        int ZACTUAL= AntiguoZ-NuevoZ;
    //Se establece el valor de Movimiento que controla la velocidad de giro
    dependiendo del valor enviado desde el puerto serial
        if(VELOCIDAD == 1){
            Movimiento=4000;
        }
        if(VELOCIDAD == 1){
            Movimiento=1625;
        }
        if(VELOCIDAD == 1){
            Movimiento=900;
        }
    //Se establece una dirección dependiendo el valor de coordenada ingresado
    if(XACTUAL < 0){
        digitalWrite(DirecX,HIGH);
    }
    else{
        digitalWrite(DirecX, LOW);
    }
    if(YACTUAL < 0){
        digitalWrite(DirecY,HIGH);
    }
    else{
```

Parte 5

```
        digitalWrite(DirecY, LOW);
    }
    if(ZACTUAL < 0){
        digitalWrite(DirecZ, HIGH);
    }
    else{
        digitalWrite(DirecZ, LOW);
    }
    //Se calcula en número de pasos a partir de la ganancia de transmisión del
    eje y del valor de la coordenada ingresada
    NpasosX = (abs(XACTUAL) *PASOS_CM_X);
    NpasosY = (abs(YACTUAL) *PASOS_CM_Y);
    NpasosZ = (abs(ZACTUAL) *PASOS_CM_Z);
    //Se establece el valor de pasos máximos de los 3 ejes
    long max_steps = max(max(NpasosX, NpasosY), NpasosZ);
    //Se activan los Drivers de los motores
    digitalWrite(Habilitar, LOW);

    for(long i=0; i<max_steps; i++){
        if(i<NpasosX) digitalWrite(PasosX, HIGH);
        if(i<NpasosY) digitalWrite(PasosY, HIGH);
        if(i<NpasosZ) digitalWrite(PasosZ, HIGH);
        delayMicroseconds( Movimiento);
        if(i<NpasosX) digitalWrite(PasosX, HIGH);
        if(i<NpasosY) digitalWrite(PasosY, HIGH);
        if(i<NpasosZ) digitalWrite(PasosZ, HIGH);
        delayMicroseconds( Movimiento);
    }
    //Se asigna el valor ingresado a la variable de coordenada antigua
    AntiguoX=NuevoX;
    AntiguoY=NuevoY;
    AntiguoZ=NuevoZ;
    //Se apagan los drivers de los motores
    digitalWrite(Habilitar, HIGH);
    }
}
```

Anexo 10. Código en Matlab de la prueba 1 Actuador Lineal.

Parte 1

```
function MATLAB_GUI
clc
global arduino;

%% Figure
f = figure;
set(f,'MenuBar','none',...
    'Name','Comunicación serial Arduino-Matlab',...
    'NumberTitle','off','color',[200 235 180]/255,...
    'Position',[490 300 450 250]);

%% Text "MATLAB and Arduino Interface"
uicontrol(f,'Style','text',...
    'Units','Normalized',...
    'Position',[.07 .865 .9 .1],...
    'BackgroundColor',[200 235 180]/255,...
    'String','Comunicación serial Matlab y Arduino',...
    'FontSize',16);

%% Text "PORT"
uicontrol(f,'Units','Normalized',...
    'Style','text',...
    'Position',[0.25 0.676 0.2 0.1],...
    'BackgroundColor',[200 235 180]/255,...
    'String','PORT :',...
    'FontSize',16);

%% Edit Take PORT Address
port = uicontrol(f,'Units','Normalized',...
    'Style','edit',...
    'String','COM3',...
    'Position',[.44 .645 .2 .15],...
    'FontSize',14);

%% Panel
fh = uipanel(f,'Units','Normalized',...
    'Position',[0.164 0.024 0.676 .576],...
    'BackgroundColor',[200 200 200]/255);

%% Button Connect
b1 = uicontrol(fh,'Style','pushbutton',...
    'Units','Normalized',...
    'String','CONECTAR',...
    'BackgroundColor',[200 200 200]/255,...
    'Position',[.0876 .567 .8 .3],...
    'Callback',{@ArduinoConnection});

%% Button Disconnect
b2 = uicontrol(fh,'Style','pushbutton',...
    'Units','Normalized',...
    'String','DESCONECTAR',...
    'BackgroundColor',[200 200 200]/255,...
    'Position',[.0876 .567 .8 .3],...
    'Visible','off',...
    'Callback',{@disconnect});
```

Parte 2

```

%% Button UP
b3 = uicontrol(fh,'Style','pushbutton',...
  'Units','Normalized',...
  'String','ARRIBA',...
  'BackgroundColor',[0 200 0]/255,...
  'Position',[.0876 .167 .3 .3],...
  'Visible','off',...
  'Callback',@UP);

%% Button DOWN
b4 = uicontrol(fh,'Style','pushbutton',...
  'Units','Normalized',...
  'String','ABAJO',...
  'BackgroundColor',[20 0 0]/255,...
  'Position',[.5876 .167 .3 .3],...
  'Visible','off',...
  'Callback',@DOWN);

%% Callback function Define %%
function ArduinoConnection(~,~,~)
  h = get(port,'String');
  arduino = serial(h,'BaudRate',9600);
  fopen(arduino);

  set(b1,'Visible','off');
  set([b2 b3 b4],'Visible','on');
end

%% Callback function Define %%
function ArduinoConnection(~,~,~)
  h = get(port,'String');
  arduino = serial(h,'BaudRate',9600);
  fopen(arduino);

  set(b1,'Visible','off');
  set([b2 b3 b4],'Visible','on');
end

function UP(~,~,~)
  fprintf(arduino,100);
end

function DOWN(~,~,~)
  fprintf(arduino,101);
end

function disconnect(~,~,~)
  fclose(arduino);
  delete(arduino);

  set(b1,'Visible','on');
  set([b2 b3 b4],'Visible','off');
end
end
end
  
```

Anexo 11. Código de comunicación vía Bluetooth en Arduino.

Parte1

```
//Define para ahorrar memoria, tipo global
#define PasosX 5
#define DirecX 4
#define PasosY 7
#define DirecY 6
#define PasosZ 9
#define DirecZ 8
#define Habilitar 10
#define FinX 26
#define FinY 22
#define FinZ 24
//Se refiere a números enteros (de 32 bits) sin decimales
long NpasosX;
long NpasosY;
long NpasosZ;
int NuevoX;
int NuevoY;
int NuevoZ;
int AntiguoX;
int AntiguoY;
int AntiguoZ;
int XACTUAL;
int VELOCIDAD;
int Movimiento;
float PASOS_CM_X;
float PASOS_CM_Y;
float PASOS_CM_Z;
#include <Stepper.h>
#include <Servo.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial seriala(2,3);
const int x1 = 200; // Numero de pasos del motor(x) //(1-3)y(2-4) bobinas
const int y1 = 200; // Numero de pasos del motor(y)
Stepper myStepper1(x1,8,9,10,11); // inicializa la libreria 'stepper' en los pines 8 a 11 para eje X
Stepper myStepper2(y1,4,5,6,7); // inicializa la libreria 'stepper' en los pines 4 a 7 para eje Y
```

Parte2

```
void setup() {
  //servoLineal.attach(pinServo);
  myStepper1.setSpeed(200); //Establece la velocidad en rpm
  myStepper2.setSpeed(200);
  Serial.begin(9600); //se inicia la comunicación Serial a 9600 Bdu
  seriala.begin(9600);
  pinMode(DirecX, OUTPUT); //Activa los pines para los motores paso a paso como salidas
  pinMode(PasosX, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(DirecY, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(PasosY, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(DirecZ, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(PasosZ, OUTPUT); //Pin de salida
  pinMode(Habilitar, OUTPUT); //Pin de salida
  digitalWrite(Habilitar, LOW); //Pin de salida
  delay(5);

void loop()
void serialEvent(){
  if(Serial.available()){ //Rutina que se activa cuando hay datos disponibles en el puerto serial
    char dato = Serial.read();
    if(dato=='X'){
      NuevoX=Serial.parseInt();
      seriala.print("Coordenada X: ");
      seriala.println(NuevoX);
    }else if(dato=='Y'){
      NuevoY=Serial.parseInt();
      seriala.print("Coordenada Y: ");
      seriala.println(NuevoY);
    }else if(dato=='Z'){
      NuevoZ=Serial.parseInt();
      seriala.print("Coordenada Z: ");
      seriala.println(NuevoZ);
    }else if(dato=='V'){
      VELOCIDAD=Serial.parseInt();
      seriala.print("Velocidad: ");
      seriala.println(VELOCIDAD);
    }
  }
}
```