

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUINA CNC DE 4 GRADOS DE
LIBERTAD**



**JUAN SEBASTIAN TORRES ARENAS
MICHAEL ORLANDO HOYOS BURBANO**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ABRIL DE 2019**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUINA CNC DE 4 GRADOS DE
LIBERTAD**



**JUAN SEBASTIAN TORRES ARENAS
MICHAEL ORLANDO HOYOS BURBANO**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingenieros en electrónica

**Director
MSc.
Daniel Rodrigo Ortega Alegría**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ABRIL DE 2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN.

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Jurado

Jurado

Director

Popayán - Cauca, Abril de 2019

DEDICATORIA.

Se la dedico al forjador de mi camino, a mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo al creador, de mis padres y de las personas que más amo, con mi más sincero amor.

Leslie San Martín

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como la oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein

“No fuisteis criados para vivir como bestias sino para seguir en pos de la virtud y la sabiduría.”

Dante Alighieri.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por el privilegio de la vida, por darnos la fortaleza para recorrer este camino y ayudarnos a mantener firmes a pesar de las adversidades.

A nuestros padres Diego Torres, Jacqueline Arenas, Dolly Yisel Burbano y Jesús Hoyos , por ser el apoyo incondicional en este camino, a nuestros hermanos Diego Felipe Torres, Catalina Torres, María del Mar Hoyos por llenarnos de motivación y alegría, en general a toda nuestra familia, amigos y compañeros de estudio por compartir esta experiencia, sin su ayuda sería imposible lograr este sueño de ser profesionales, ustedes han sido los que nos han ayudado a afrontar los retos que se han presentados día a día.

A nuestro director el Ingeniero Daniel Ortega por su acompañamiento, su confianza, sus consejos y compartir su conocimiento en el desarrollo este proyecto.

A los jurados por su tiempo en las revisiones y sus recomendaciones. Y a todos los profesores que han transmitido su conocimiento en favor de crecer y ser profesionales de bien, es la labor más ardua que existe, pero la que genera mayor satisfacción al hacer que los seres humanos vayan avanzando cada día.

TABLA DE CONTENIDO.

Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas.....	XI
Resumen.....	XII
Abstract.....	XIII
Capítulo 1 Problema.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos del proyecto.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Organización del documento.....	4
Capítulo 2 Bases teoricas.....	5
2.1 Maquinas CNC.....	5
2.2 Fresadora o router CNC.....	6
2.2.1 Fresadoras según la orientación de la herramienta.....	7
2.2.2 Fresadoras con características especiales.....	8
2.2.3 Fresadoras según los grados de libertad.....	9
2.3 Tornos CNC.....	9
2.4 Máquina CNC de electroerosión.....	10
2.5 Máquina CNC de corte laser.....	11
2.6 Mecanizado hidrodinámico.....	12
2.7 Impresora 3D.....	12
2.8 Máquina de corte por plasma.....	13

2.9 Trabajos relacionados.....	14
2.9.1 Trabajos relacionados al subsistema software.....	14
2.9.2 Trabajos relacionados al subsistema eléctrico y electrónico.....	17
2.9.3 Trabajos relacionados al subsistema mecánico.....	20
Capítulo 3 Diseño de una maquina CNC.	23
3.1 Selección del tipo de maquina CNC para el proyecto.....	23
3.1.1 Criterios de diseño.	23
3.2 Componentes de la maquina CNC de 4 GDL.	23
3.3 Subsistema mecánico.....	24
3.3.1 Mesa de trabajo.....	25
3.3.2 Estructura del eje Y.....	26
3.3.3 Estructura del eje X.....	27
3.3.4 Estructura del eje Z.....	28
3.3.5 Estructura del eje A.....	30
3.3.6 Soporte de la herramienta de corte.....	31
3.3.7 Ensamble del subsistema mecánico.....	31
3.3.8 Cálculos para la estimación de las dimensiones del husillo.....	32
Capítulo 4 Implementación de una maquina CNC de 4 grados de libertad.....	37
4.1 Subsistema electrico y electronico.....	37
4.1.1 Motores.....	37
4.1.2 Drivers.....	39
4.1.3 Tarjeta de comunicación.....	40
4.1.4 Computador.....	44
4.1.5 Spindle o <i>moto tool</i>	45
4.1.6 Alimentación.....	46

4.2 Subsistema software.....	47
4.2.1 Partes del subsistema software	47
4.3 Integración y pruebas.	50
4.3.1 Proceso de maquinado de formas 2D (Desaciertos).....	51
4.3.2 Proceso de maquinado de formas 2D (Aciertos).....	52
4.3.3 Proceso de maquinado de piezas 3D (Desaciertos)	55
4.3.4 Proceso de maquinado de piezas 3D (Acierto)	56
Capítulo 5 Pruebas de la maquina CNC de 4 grados de libertad.....	59
5.1 Protocolo de pruebas.....	59
5.1.1 Precisión de corte con figura plana.	59
5.1.2 Validación en corte con figura que tiene profundidad.....	61
5.1.3 Resultados.	63
Capítulo 6 Conclusiones y trabajos futuros.	68
6.1 Conclusiones.	68
6.2 Trabajos futuros.....	68
6.3 Recomendaciones	69
Bibliografía.	70
Anexo A.....	1
Mantenimiento Operario.	1
Mantenimiento General.....	1
Anexo B.....	3
Precauciones y recomendaciones.	3
Aspectos a tener en cuenta.	4
Anexo c.	5
Planos de la maquina cnc de cuatro grados de libertad.	5

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 Sistema de control de una CNC [9].....	6
Figura 2 Fresadora o router CNC (tomada de [11]).....	7
Figura 3 Torno CNC de bancada plana [19].....	10
Figura 4 Maquina CNC de electroerosión [19].	11
Figura 5 Maquina CNC de corte laser [23].	11
Figura 6 Maquina de mecanizado hidrodinámico [24].	12
Figura 7 Impresora 3D Prusa I3.	13
Figura 8 Maquina CNC de corte por plasma [27].	14
Figura 9 Componentes de cada módulo de la máquina CNC [Fuente propia].	24
Figura 10 Mesa de trabajo [fuente propia].....	26
Figura 11 Diseño CAD de la estructura del eje Y [fuente propia]	26
Figura 12 Estructura del eje X [Fuente propia].	27
Figura 13 Estructura del eje Z [Fuente propia].	29
Figura 14 Estructura del eje A [Fuente propia].	30
Figura 15 Soporte para la herramienta de corte [Fuente propia].....	31
Figura 16 Ensamblaje de la maquina fresadora CNC [Fuente propia].	32
Figura 17 Diseño de la rosca cuadrada[34].....	32
Figura 18 Diagrama de fuerzas en el carro longitudinal [Fuente propia].	34
Figura 19 Diagrama de fuerzas presentes en un cilindro[35].	35
Figura 20 Lazo de control abierto para los motores paso a paso [Fuente propia].	38
Figura 21 Datos de entrada/salida en la tarjeta de comunicación [Fuente propia].	41
Figura 22 Distribución de pines del puerto paralelo	41
Figura 23 <i>Breakout Board 5 axis ST-V2</i> , distribución de entradas y salidas.	44
Figura 24 Datos de entrada/salida al computador [Fuente propia].....	45
Figura 25 Fuente de poder S-320-36.	46
Figura 26 Flujo a nivel software para el maquinado de la pieza [Fuente propia]...	47
Figura 27 Partes reales del subsistema mecánico [Fuente propia].....	50
Figura 28 Seguimiento de trayectoria 2D con fresa de ¼” [Fuente propia].....	51

Figura 29 Resultado final de las piezas [Fuente propia].....	52
Figura 30 Pruebas de corte 2d con la maquina CNC de 4 GDL [Fuente propia]...	53
Figura 31 Resultados del proceso de maquinado [Fuente propia]	53
Figura 32 Proceso de maquinado de una figura 2D [Fuente propia].	54
Figura 33 Pruebas de corte 3d con la maquina CNC de 4 GDL [Fuente propia]...	55
Figura 34 Resultados finales del maquinado de las piezas con forma 3D [Fuente propia].	56
Figura 35 Proceso de maquinado de una pieza en 3D [Fuente propia].	57
Figura 36 Resultado final de la pieza con acabados [Fuente propia].	57
Figura 37 Proceso de maquinado de una figura en 3D [Fuente propia].	58
Figura 38 Configuración para el corte de figura plana [Fuente propia].....	60
Figura 39 Resultado del maquinado de la pieza con forma 2D [Fuente propia]. ...	61
Figura 40 Configuración para el corte de la pieza 3D [Fuente propia].	62
Figura 41 Detalles de la pieza 3D [Fuente propia].	62
Figura 42 Diagrama de cajas y bigotes para pieza plana [Fuente propia].....	64

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1 Tipos de componentes para la impresión 3D.	13
Tabla 2 Trabajos relacionados con el modulo software [Fuente propia].	15
Tabla 3 Trabajos relacionados con el módulo electrónico [Fuente propia].....	18
Tabla 4 Trabajos relacionados con el módulo mecánico [Fuente propia].....	21
Tabla 5 Herramientas CAD para el diseño de la máquina [Fuente propia].	25
Tabla 6 Partes de la estructura de la mesa.....	26
Tabla 7 Partes de la estructura del eje X.	28
Tabla 8 Partes de la estructura del eje Z.....	29
Tabla 9 Partes de la estructura del eje A.	30
Tabla 10 Coeficientes de fricción metal-metal.....	33
Tabla 11 Resultados teóricos para cada husillo de la maquina [Fuente propia] ...	35
Tabla 12 Datos técnicos del driver TB-6660.....	39
Tabla 13 Configuración de corrientes DIP switch.....	40
Tabla 14 Configuración de los micro pasos del DIP switch.....	40
Tabla 15 Pines y funciones del puerto paralelo [Fuente propia].....	42
Tabla 16 Especificaciones del moto tool [Fuente propia].	46
Tabla 17 Software disponibles para el subsistema [Fuente propia].	48
Tabla 18 Diámetro y Área de las 6 piezas grabadas con la maquina [Fuente propia].	51
Tabla 19 Diámetro (cm) para cada detalle de las piezas cortadas [Fuente propia].	55
Tabla 20 Diámetro de las 20 piezas cortadas con la maquina [Fuente propia].	60
Tabla 21 Diámetro (cm) para cada detalle de las piezas cortadas [Fuente propia].	63
Tabla 22 Resumen de resultados para los detalles de la pieza 3D [Fuente propia].	65

RESUMEN.

En el presente trabajo se realizó la implementación de una máquina Control Numérico Computarizado (CNC) de cuatro grados de libertad, en base al modelo 3020 [37]. En este documento se está presentando el diseño y fabricación de un prototipo que tiene la capacidad de realizar cortes en materiales no ferrosos de hasta 10 centímetros de profundidad, con dimensiones de 40 centímetros de largo y 40 centímetros de ancho, adicionalmente se documenta y presenta una descripción detallada del desarrollo de la estructura, el sistema eléctrico, el software usado en su implementación y se describe la construcción del circuito de control de potencia (CCP). Finalmente, se muestran los resultados obtenidos mediante la fabricación de una pieza, las conclusiones a las que se llega con el desarrollo de este proyecto y los resultados en la fabricación.

Palabras clave: CNC, Maquinado de piezas, Grados de libertad.

ABSTRACT.

In the present work was made out the construction of a CNC machine (Computerized Numerical Control) of four degrees of freedom, based on the model 3020 [37]. This document presents the design and manufacturing of a prototype that has the ability to make cuts in materials non-ferrous up to 10 centimeters deep, with dimensions of 40 centimeters long and 40 centimeters wide, additionally it is documented and presents a detailed description of the development of the structure, the electrical system and the software used in its implementation. Likewise, the construction of the power control circuit (CCP) is described, achieving significant scope of the electronics in the handling of industrial machines. Finally, the results obtained through the manufacture of a piece, the conclusions reached with the development of this project and the results in the manufacturing are shown.

Keywords: CNC, machining parts, degrees of freedom.

CAPÍTULO 1 PROBLEMA.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Desde la revolución industrial se mejoraron continuamente las primeras máquinas, permitiendo en la actualidad que procesos de control numérico por computadora, la electroerosión, el diseño asistido por computadora (CAD), la manufactura asistida por computadora (CAM), así como los sistemas de manufactura flexible logren modificar y mejorar de manera importante los métodos de fabricación[1].

En este sentido, es posible afirmar que la implementación de procesos automatizados con máquinas CNC representa beneficios para la región, entre lo que pueden destacarse la precisión, la exactitud en sus operaciones estableciendo mínimas pérdidas de materia prima, de igual manera mayor capacidad en cuanto a la programación y puesta en marcha, además de competitividad frente a las máquinas tradicionales, mayor rendimiento y menor costo, amplia capacidad de diseño, y control de los productos[2].

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El mercado es cada vez es más exigente y competitivo, razón por la cual las empresas siempre deben estar en constante innovación, tanto en los procesos de producción como en la calidad de los productos, por lo que es necesario buscar sistemas automatizados que brinden mejores prestaciones en las diferentes áreas industriales como: metalmecánica, agrícola, química, alimentaria, entre otros[3].

En el caso de Colombia productos que se elaboran a partir de materiales con diferentes formas dependen de la región donde se maquinan, por ejemplo en el sur occidente colombiano, se trabajan procesos metalmecánicos de manera artesanal y rudimentaria, esto genera un aumento en los costos de producción e

incrementa el valor final del producto ofrecido[3]. Uno de los procedimientos que requiere mayor productividad es el corte de los materiales, muy usado en el maquinado de piezas para publicidad 2D y 3D, diseño de armaduras para piezas metálicas, corte de cuero, moldes para tableros electrónicos, en el área de textiles, corte de madera para diseño de puertas, armarios, muebles, el corte de vidrios y acrílicos, entre otros. Algunos procesos siguen siendo rudimentarios y esto hace que los trabajos requieran de más horas hombre para su entrega y producción; un ejemplo es el corte y tallado de materiales, el cual usa como herramientas: seguetas, cinceles o una pulidora; lo cual conlleva a que el trabajador haga más esfuerzos, menos precisión en el corte o tallado y siempre existe el riesgo de tener accidentes laborales.

Lo expuesto anteriormente nos lleva a la pregunta de investigación: ¿Cómo diseñar e implementar una maquina CNC de cuatro grados de libertad programable a través de un software CAD/CAM?

1.3 JUSTIFICACIÓN.

En el contexto de la industria mecánica actual, concurren toda una serie de factores que permiten la introducción de nuevas tecnologías para mejorar la efectividad y la eficiencia de los procesos de maquinado, entre los factores tenemos[4]:

- Exigencias del mercado de mayor calidad, complejidad y precisión de los productos.
- Reducción de los plazos de entrega, por lo cual se debe reducir los tiempos de fabricación.
- Mejoramiento de la calidad de los materiales.
- Mejores acabados superficiales.
- Menores costos de producción.

En la pequeña y mediana industria colombiana de hoy en día, se vive una realidad técnica muy lejana a la vista en las universidades y en las industrias a gran escala, dado que la mayoría de los procesos productivos realizados en éstas industrias en desarrollo son muy antiguos y presentan un atraso significativo al compararlos con el actual nivel tecnológico mundial. Esta diferencia abismal se debe principalmente al poco poder adquisitivo de estas industrias, al elevado costo que aún tienen las máquinas modernas y a la incapacidad de las pequeñas empresas de acceder a créditos que les permitan renovar su maquinaria, lo cual genera poca productividad[5][6].

Todo esto constituye un ciclo que poco a poco ha ido frenando el desarrollo de la industria tecnológica en Colombia, y en general, en los países en desarrollo. Existen diversos esfuerzos institucionales como el Instituto de Fomento Industrial y el Fondo Nacional de Productividad y Competitividad que buscan hacer frente a estas dificultades[5]. Sin embargo aún no son lo suficientemente efectivos, hecho que se ve reflejado en la difícil situación que afronta este sector en la actualidad. Como un aporte a la solución de esta problemática para un ámbito industrial en particular, en este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo automatizado de una máquina CNC de 4 grados de libertad, máquina de amplia acogida debido principalmente a su capacidad de elaborar una gran variedad de piezas diferentes con cortos tiempos de preparación, y bajos costos de operación[5].

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos para dar respuesta a la pregunta de investigación planteada.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar e implementar una máquina CNC de cuatro grados de libertad.

1.4.2 Objetivos específicos.

- 1) Diseñar un sistema electromecánico para la máquina CNC.
- 2) Implementar el diseño del sistema electromecánico de la máquina CNC.
- 3) Validar la estructura y el sistema de control diseñado para la máquina CNC de cuatro grados de libertad en la elaboración de una figura en 2D y 3D en madera.

1.5 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.

La monografía se encuentra distribuida de la siguiente manera: En el Capítulo 1 se introduce al tema, el problema, la justificación y los objetivos de este proyecto, el Capítulo 2 detalla las que hay actualmente en cuanto a maquinas CNC, en el 2.9.1 se aborda el proceso de diseño estructural de la maquina propuesta, el Capítulo 4 corresponde al proceso de implementación incluyendo aspectos de software, hardware y funcionamiento, el Capítulo 5 hace referencia a las pruebas realizadas con la máquina para la validación de la precisión y finalmente el Capítulo 6 contiene las conclusiones y los trabajos futuros propuestos.

CAPÍTULO 2 BASES TEORICAS.

2.1 MAQUINAS CNC.

Las maquinas CNC combinan una serie de instrucciones codificadas mediante números y letras, que indican la trayectoria a seguir por las herramientas, así como su velocidad, profundidad en los cortes, cambio de herramientas, entre otras indicaciones relacionadas con la operación[7]. Entre las ventajas de estas máquinas vale la pena resaltar[8]:

- Alto de grado de calidad debido a la precisión y la ausencia de errores debidos a la manipulación humana.
- Se reducen los desperdicios de material, así como también, es menor la probabilidad de errores debido a la fatiga del operador, interrupciones y otros factores.
- La inspección es simplificada ya que una vez que la primera pieza ha pasado su respectiva comprobación, se va a requerir una supervisión mínima en las partes subsecuentes.
- Tiempo de servicio reducido gracias a los procesos automatización.
- Las operaciones complejas de la maquinaria se realizan fácilmente al tener sistemas más robustos de control avanzado.
- Mayor exactitud en las operaciones dadas por la máquina. Aunque el margen de error que se maneja es muy pequeño, cuenta con un ajuste automático y periódico para evitar errores.
- Competitividad frente a los métodos tradicionales.

Las características estructurales de las máquinas CNC están estrechamente relacionadas a factores como: La forma, material de la estructura, esfuerzos, peso, consideraciones de fabricación y rendimiento esperado para el tipo de operación o uso. En cuanto al sistema hardware, se basa fundamentalmente en el control de

movimiento de motores y sus respectivos dispositivos de actuación y supervisión, así entonces las máquinas CNC tienen un sistema de control como el descrito en la Figura 1.

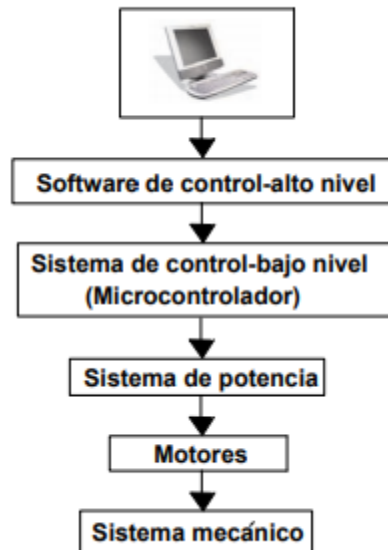


Figura 1 Sistema de control de una CNC [9]

Las máquinas CNC se pueden clasificar según su tipo en: Fresadora o router CNC, tornos CNC, Maquinas CNC de electroerosión, Maquinas CNC de corte laser, mecanizado hidrodinámico, impresora 3D y corte con plasma[10]. Todas se caracterizan por tener una mesa, una herramienta de corte, los carros de desplazamiento tanto lateral y transversal. No obstante, no se usan palancas ni manivelas para accionar las partes móviles, sino que, por medio de un panel de control, componentes eléctricos y electrónicos se regula el funcionamiento de los motores, los cuales remplazan el trabajo de las manivelas. Adicionalmente se cuenta con una computadora que controla y maneja los movimientos de todo el sistema por medio de software[7]. A continuación se presenta cada tipo de máquina CNC en detalle.

2.2 FRESADORA O ROUTER CNC.

Es una máquina capaz de realizar mecanizado de piezas por medio de arranque de viruta con el movimiento de una herramienta denominada fresa, es posible mecanizar diferentes materiales como son: madera, piedra, fundición de aluminio, aluminio, acrílico[8]. La capacidad de los motores en cuanto a fuerza y torque permiten cortar materiales de densidad media, el husillo de la máquina hace que aumente la capacidad de corte ya que este elemento es quien se encarga de ejecutar la orden que se le envía a la herramienta (ver Figura 2). Las fresadoras CNC a su vez se pueden clasificar de la siguiente manera:



Figura 2 Fresadora o router CNC (tomada de [11]).

2.2.1 Fresadoras según la orientación de la herramienta.

Según la orientación del eje de giro de la herramienta de corte, se pueden observar cuatro tipos de fresadoras: horizontales, verticales, universales y mixtas[12]. La fresadora horizontal consta de una bancada vertical, llamada cuerpo de la fresadora, a lo largo de una de cuyas caras se desliza una escuadra llamada ménsula, o consola, sobre la cual, se mueve un carro porta mesa que soporta la mesa de trabajo, en la que se fija la pieza que se ha de fresar. La fresadora vertical su eje porta fresas es vertical. En general es mono polea y tiene la mesa con movimiento automático en sentido vertical, longitudinal y transversal. La fresadora universal puede girar alrededor de un eje vertical y recibir movimiento automático en sentido vertical, longitudinal y transversal. Finalmente en la

fresadora mixta el husillo porta fresas es orientable en cualquier sentido; su posición se determina por medio de dos círculos graduados [13].

2.2.2 Fresadoras con características especiales.

Las fresadoras pueden disponer de características especiales, dicha clasificación las agrupa de la siguiente manera: Fresadoras circulares, copiadoras, de pórtico, de puente móvil, para madera, de 3, 4 o 5 ejes.

- Las fresadoras circulares tienen una amplia mesa giratoria, por encima de la cual se desplaza el carro portaherramientas, que puede tener uno o varios cabezales verticales, por ejemplo, uno para operaciones de desbaste y otro para operaciones de acabado. Además, pueden montarse y desmontarse piezas en una parte de la mesa mientras se mecanizan piezas en el otro lado[9].
- Las fresadoras copiadoras disponen de dos mesas, una de trabajo sobre la que se sujeta la pieza a mecanizar y otra auxiliar sobre la que se coloca un modelo. El eje vertical de la herramienta está suspendido de un mecanismo con forma de pantógrafo que está conectado también a un palpador sobre la mesa auxiliar[13].
- En el caso de las fresadoras de pórtico o de puente, el cabezal porta herramientas se encuentra sobre una estructura de dos columnas situadas a lados opuestos de la mesa por lo que puede moverse verticalmente, transversalmente y longitudinalmente[16]. Las fresadoras de puente móvil tienen una estructura de grúa y permiten mecanizar piezas de grandes dimensiones[14].
- En cuanto a las fresadoras para madera, normalmente son máquinas portables que utilizan una herramienta rotativa para realizar fresados sobre

superficies planas de madera. Son empleadas en bricolaje y ebanistería para realizar ranurados[14].

2.2.3 Fresadoras según los grados de libertad.

Otra forma de clasificar las fresadoras es en función del número de grados de libertad que pueden variarse durante la operación de arranque de viruta; tenemos entonces: Fresadoras de 3 ejes, de 4 ejes y de 5 ejes.

- La fresadora de 3 ejes puede controlar el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los 3 ejes de un sistema cartesiano[17]
- La fresadora de 4 ejes, tiene las ventajas de la anterior, pero además tiene control del giro de la pieza sobre un eje, como un plato giratorio, se utiliza comúnmente para generar patrones cilíndricos, como engranajes o ejes estriados[17].
- La fresadora de 5 ejes, aparte de controlar el movimiento en el sistema cartesiano, puede controlar el giro de la pieza sobre dos ejes, uno perpendicular al eje de la herramienta y otro paralelo a ella (como con un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical). Se utilizan para generar formas complejas, como el rodete de una turbina Francis[17].

2.3 TORNOS CNC.

Son máquina capaces de realizar piezas generalmente de forma cilíndrica por medio de arranque de viruta con el movimiento de una herramienta de corte o cuchilla que en la mayoría de los casos es estacionaria mientras que la pieza de trabajo es giratoria, una herramienta de corte típica para usar en un torno (también conocida como buril) consta principalmente de un cuerpo, mango o vástago, y de

un cabezal donde se encuentra la parte cortante[7]. Una de sus ventajas es que permite trabajar con metales, sin embargo, también trabaja materiales no metálicos como el teflón. Los tornos CNC funcionan igual que uno convencional, la diferencia radica en la capacidad de producir piezas en serie con mucha precisión, debido a que el proceso es guiado por medio de un computador con órdenes programadas directamente desde un software. La Figura 3 es un ejemplo de este tipo de maquina disponible en el mercado[18].



Figura 3 Torno CNC de bancada plana [19].

2.4 MÁQUINA CNC DE ELECTROEROSIÓN.

Realiza un proceso de mecanizado por arranque de viruta para materiales conductores de electricidad, emplea chispas controladas con precisión producidas entre un electrodo y una pieza de trabajo, en presencia de un fluido dieléctrico[7]. Existen tres tipos de mecanizado por electroerosión. El primero es por penetración, por hilo y por perforación, la Figura 4 presenta un ejemplo de este tipo de máquina[20].



Figura 4 Máquina CNC de electroerosión [19].

2.5 MÁQUINA CNC DE CORTE LASER.

La Figura 5, muestra una máquina capaz de realizar mecanizado de piezas por medio de la focalización del haz láser en un punto del material que se desea tratar, para que el material se funda y evapore lográndose así el corte[21]; Permite trabajar en materiales como: madera, acrílico y metales. La potencia del láser de este tipo determina el tipo de materiales que se pueden industrializar, la capacidad de los motores en fuerza y/o torque debe ser media pues lo que importa es la velocidad a la que se muevan, ya que estos dispositivos trabajan por haces de luz que al estar mucho tiempo en un mismo punto desgastan el material más de lo necesario[22].



Figura 5 Máquina CNC de corte laser [23].

2.6 MECANIZADO HIDRODINÁMICO.

Este tipo de mecanizado es un proceso mediante el cual se consigue cortar un material haciendo impactar sobre éste un chorro de agua a gran velocidad que produce un acabado, el corte mediante chorro de agua no genera calor residual en la incisión de corte, por lo que no modifica las propiedades físicas del material. Una bomba de ultra alta presión es el corazón del sistema de corte, y se consigue comprimir el agua por encima de 4100 bares, cuanto más elevada es la presión, mejores son los[7] (ver Figura 6).

Hay dos tipos de cortes con agua, uno de ellos es corte con agua pura y el otro una combinación de agua, aire y abrasivo¹.



Figura 6 Maquina de mecanizado hidrodinámico [24].

2.7 IMPRESORA 3D.

Este tipo de mecanizado es un proceso mediante el cual se consigue construir estructuras físicas (previamente diseñadas en un software CAD) en tres dimensiones usando materiales para su impresión (ver Figura 7). Existen diferentes tipos de impresión, como se observa en la Tabla 1, variando el material con el cual se produce la pieza[25].

¹Sustancia que tiene como finalidad actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico.

Tabla 1 Tipos de componentes para la impresión 3D.

Compactación de una masa de polvo por estratos, se inyectan tinta aglomerante al polvo para compactarlo.
Polimerización del polvo mediante una transmisión de energía, a continuación, al finalizar la impresión, se introduce la pieza en líquido para solidificarse.
Inyección de polímeros o resinas líquidas que al ser tratadas con luz ultravioleta generan la figura.
Extrusión en caliente de un filamento de plástico que se basa en empujar un hilo de plástico a través de un mecanismo, llamado extrusor, que se calienta hasta una temperatura capaz de fundir ligeramente el material de plástico utilizado, sin llegar a derretirlo por completo.

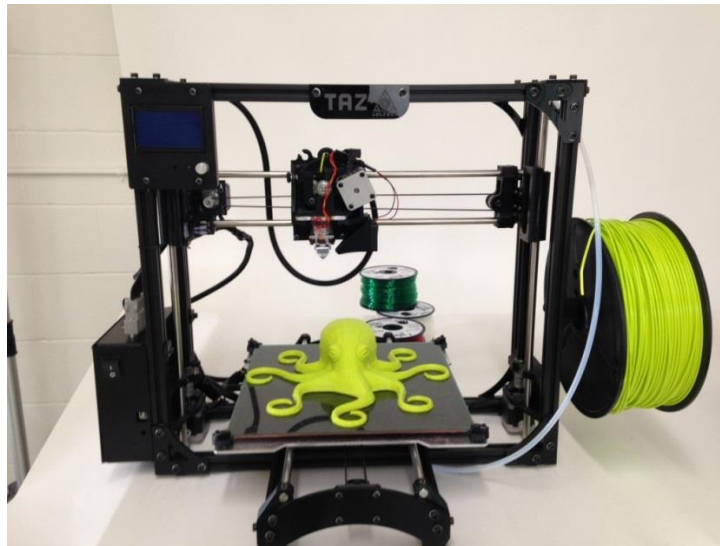


Figura 7 Impresora 3D Prusa I3².

2.8 MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA.

Este tipo de máquina utiliza una mesa de corte, se mueve por medio de motores paso a paso o servomotores en los ejes (X, Y) usando un tornillo o una cremallera, el proceso de corte usa un chorro de gas ionizado (plasma) que se estrecha y dirige a través de una tobera y produce un arco que calienta un metal

² <https://libertyblitzkrieg.com/wp-content/uploads/2014/06/Taz4-1024x768.jpg>

eléctricamente conductor por encima de su punto de fusión, produce un corte en el metal y arroja metal fundido (escoria) a través de la ranura del corte[7]. Ya que el proceso de corte produce una alta emisión de gases se adiciona al sistema unas bandejas con agua que al recibir la escoria absorben la mayoría de los vapores emitidos[26] (ver Figura 8).



Figura 8 Maquina CNC de corte por plasma [27].

2.9 TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación se presentan los trabajos relacionados a los subsistemas que componen una maquina CNC.

2.9.1 Trabajos relacionados al subsistema software.

La Tabla 2 tiene la revisión sistemática de la literatura sobre los trabajos relacionados al subsistema software.

Tabla 2 Trabajos relacionados con el modulo software [Fuente propia].

Titulo	Enfoque	Aporte	Brechas
Implementación de un laboratorio básico de control numérico computarizado en la celda de manufactura de la facultad de ingeniería industrial de la universidad tecnológica de Pereira[1]	El diseño y la implementación de sus guías prácticas para el conocimiento y manejo de máquinas herramientas CNC, enfocándose en la fresadora de control numérico computarizado de la universidad tecnológica de Pereira de la facultad de ingeniería industrial	La realización de las prácticas de laboratorio en la fresadora CNC, con el propósito de dar enseñar a los estudiantes de la facultad de ingeniería industrial	Implementan las prácticas de laboratorio en la fresadora CNC existente en la universidad de Pereira, por lo cual no realizan ningún prototipo
Desarrollo de tecnología para la fabricación de máquinas CNC para corte de tendidos de tela para pequeños talleres de confección[28]	La cortadora de tela CNC, es una maquina dedicada a cortar automáticamente varias capas de tela de diferentes formas, pesos, calidades y espesores	El resultado de varias investigaciones relacionadas con el desarrollo de tecnología aplicada al diseño y la fabricación de máquinas CNC para corte de tendidos de tela,	Es un artículo investigativo donde se muestra de manera breve los fundamentos en este campo

		destinadas a pequeños talleres de confección	
Diseño y simulación de una mini fresadora didáctica controlada por PC[29]	El diseño mecánico, eléctrico y de control de la mini fresadora didáctica controlada por PC	La simulación en la cual obtienen resultados de definición y esfuerzos que confirman que el modelo cumple con los parámetros establecidos de diseño	Realizan el costo estimado para su construcción pero no la llevan a cabo
Rediseño y optimización del sistema de posicionamiento bidimensional aplicado a la perforación de circuitos impresos[30]	Desarrollar un prototipo de una máquina de fresado de tres ejes aplicada a la perforación de circuitos impresos, controlada bajo programación Labview	Una máquina para la perforación de circuitos impreso (PCB) con CNC, la cual posiciona por medio de coordenadas un taladro y es controlada por el software Drill 1.0 desarrollado bajo el entorno de labview	Este proyecto presenta una maquina constituida físicamente por 3 ejes, la cual es controlada por Drill 1.0, desarrollado bajo el entorno de labview, la comunicación se logra con una tarjeta multifunción de <i>NATIONAL INSTRUMENTS</i>

2.9.2 Trabajos relacionados al subsistema eléctrico y electrónico.

La Tabla 3 tiene la revisión sistemática de la literatura sobre los trabajos relacionados al subsistema mecánico.

Tabla 3 Trabajos relacionados con el módulo electrónico [Fuente propia].

Titulo	Enfoque	Aporte	Brechas
Diseño de un sistema de control para una fresadora CNC [12]	El trabajo está enfocado a realizar un sistema electrónico para poder controlar el taladro y los ejes de la base desde un ordenador mediante un programa ya existente (comercial o distribución libre)	El diseño de un sistema de control para convertir una fresadora manual en una fresadora CNC con el mínimo coste posible	Una fresadora manual convertida en una fresadora CNC, que se controla desde un ordenador con software libre como Match3
Control de una fresadora CNC de uso didáctico [31]	El diseño de control para la recuperación de una fresadora CNC para uso didáctico	Proponer un sistema de control para la recuperación de un equipo	El diseño de control de una fresadora CNC para la realización de prácticas académicas
Diseño y construcción de una mini fresadora con control numérico por computadora [32]	Prototipo de una máquina CNC la cual sirva para elaborar guías de laboratorio con las cuales se pueden poner en práctica las operaciones	Realizar una máquina que estará destinada para trabajar con materiales blandos como madera y plásticos, no obstante será la base para diseñar y	Prototipo de bajo costo que sea adaptable a los requerimientos, la cual se pueda utilizar como una buena herramienta para prácticas estudiantiles

	principales de la maquina	construir maquinas con mejores prestaciones	
Sistema Electrónico de control de un torno CNC didáctico [7]	El diseño y la construcción de un torno automático implica el desarrollo de un sistema mecánico, un sistema electrónico y un sistema informático	Describe el proceso de diseño del sistema electrónico de control de un torno automático CNC de uso didáctico.	Solo realizan el diseño y no la implementación del sistema de control.

2.9.3 Trabajos relacionados al subsistema mecánico.

La Tabla 4 tiene la revisión sistemática de la literatura sobre los trabajos relacionados al subsistema mecánico.

Tabla 4 Trabajos relacionados con el módulo mecánico [Fuente propia].

Titulo	Enfoque	Aporte	Brechas
Diseño mecánico del cabezal y el bastidor de una fresadora CNC de 500*500*200 mm con mesa de trabajo tipo plataforma de gough[14]	El diseño del cabezal y del bastidor de una fresadora CNC que puede usar una plataforma móvil de 6 grados de libertad como mesa de trabajo	El diseño de una fresadora CNC con la variante que llevara como mesa de trabajo de una plataforma móvil de 6 GDL, cuya mesa de trabajo permitirá 3 desplazamientos y 3 orientaciones	En este proyecto queda pendiente el diseño estructural de la plataforma móvil, así como el sistema que permitía configurar la fresadora en CNC
Diseño y construcción de un prototipo de una maquina taladradora de control numérico computarizado[10]	El diseño y construcción de un prototipo de taladradora de control numérico computarizado, de bajo costo, en la que un micro controlador controla la posición y velocidad de los motores paso a paso que accionan los ejes de la maquina	Prototipo que a partir de un diseño gráfico, va a realizar el mecanizado de piezas taladradas en serie, así como también fresado de contornos	Prototipo de bajo costo y didáctico de una fresadora CNC
Diseño y construcción de	El diseño y construcción de	La creación de este torno	Prototipo de bajo costo y

un torno de control numérico[18]	un torno de control numérico computarizado (CNC) que permita la elaboración de piezas y cuyo diseño haya sido programado mediante códigos G y M	pretende minimizar costos, además de brindar una opción más económica a los dueños de talleres de precisión que deseen automatizar sus procesos a mediano plazo	didáctico.
---	---	---	------------

CAPÍTULO 3 DISEÑO DE UNA MAQUINA CNC.

Este capítulo aborda el proceso de selección y diseño de la máquina CNC a implementar.

3.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE MAQUINA CNC PARA EL PROYECTO.

Dado que el factor financiero juega un papel importante en la ejecución de un proyecto y teniendo en cuenta que previo al inicio se disponía de una maquina CNC de 3 grados de libertad, se optó por mejorar el prototipo agregando un grado adicional. Por lo anteriormente expuesto se optó por el diseño e implementación de una maquina CNC de 4 grados de libertad (GDL).

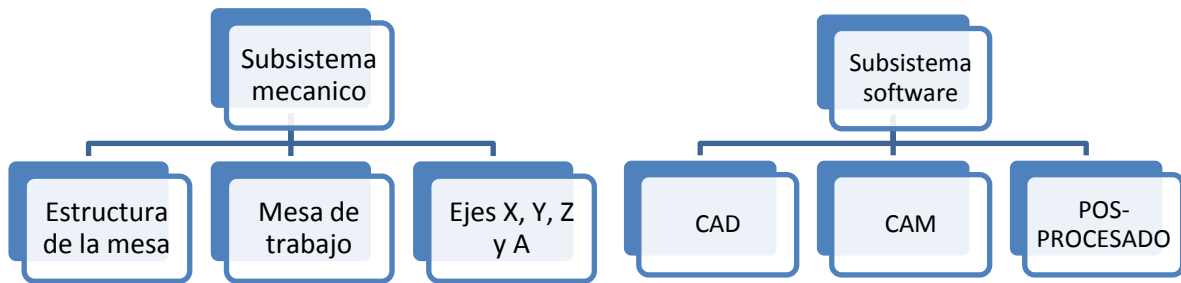
3.1.1 Criterios de diseño.

Dado que se partió de un hardware inicial, a nivel de diseño es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones del área de trabajo de la máquina no pueden exceder el límite de 40 [cm] * 40 [cm].
- La máquina opera con materiales no ferrosos como madera, acrílico, vidrio, plástico, cuero, cartón, mármol, aluminio galvanizado e polietileno expandido.
- La precisión debe tener una tolerancia máxima de 1 [mm] de la medida real.

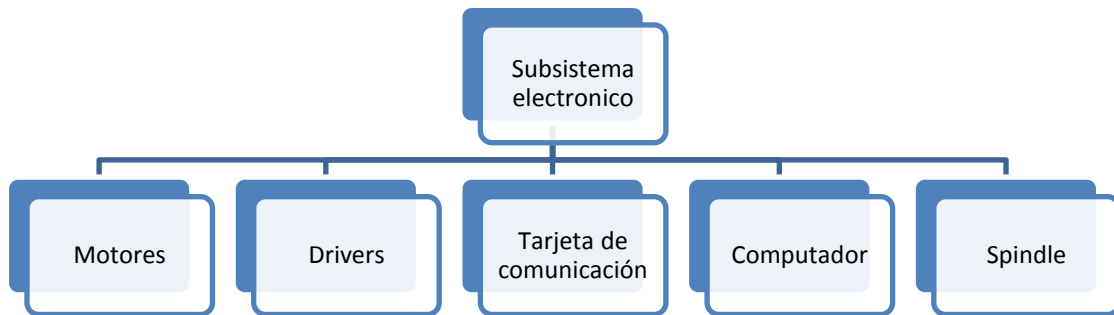
3.2 COMPONENTES DE LA MAQUINA CNC DE 4 GDL.

Para la máquina CNC implementada en este proyecto se propone una arquitectura hardware/software compuesta de diferentes subsistemas como se puede observar en la Figura 9.



a) Subsistema mecánico.

b) Subsistema software.



c) Subsistema electrónico.

Figura 9 Componentes de cada módulo de la máquina CNC [Fuente propia].

Dado que los subsistemas de software y electrónicos se implementaron con información obtenida directamente de la literatura, se abordan con detalle en el Capítulo 4.

3.3 SUBSISTEMA MECÁNICO.

Para el diseño CAD de los componentes de la máquina existen en el mercado múltiples herramientas para facilitar el proceso, sin embargo se evaluaron teniendo en cuenta factores como: (i) Tipo de licencia, (ii) costo y (iii) simulación

de movimiento. La selección de la herramienta CAD esta documenta en la Tabla 5, de la cual se obtuvo que *Solid Edge* brinda importantes ventajas para el proceso de diseño ya que tiene una licencia académica la cual no representa ningún costo y permite la simulación de movimiento para validar el correcto desarrollo de la máquina³.

Tabla 5 Herramientas CAD para el diseño de la máquina [Fuente propia].

Nombre	Tipo de licencia	Costo	Simulación
Solid Works	Comercial	Requiere cotización	Materiales y movimiento
Libre CAD	Libre	No tiene	Solamente diseño CAD 2D
Solid edge	Comercial Académica	La licencia académica no tiene costo	Movimiento
Autodesk	Comercial	Requiere cotización	Solo diseño

3.3.1 Mesa de trabajo.

Es donde se ubica el material a mecanizar, sus dimensiones corresponden a las dimensiones del área de trabajo de la máquina. En la Figura 10 se puede observar la mesa de trabajo diseñada en el software CAD y la mesa es en sí misma la única pieza que compone la estructura.

³<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/7910;jsessionid=2081F918D744A35A3923DCBF8D7E3566>

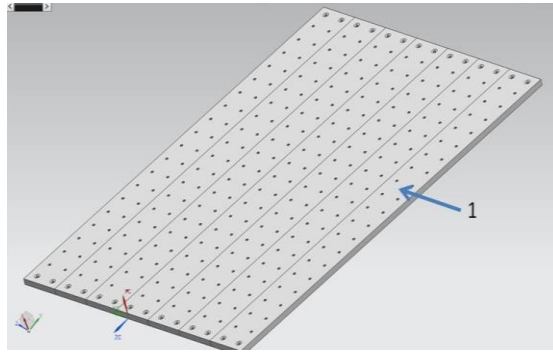


Figura 10 Mesa de trabajo [fuente propia].

3.3.2 Estructura del eje Y.

Tiene como finalidad sostener toda la fresadora CNC, es el centro de la máquina, ya que es donde se fijan todos los componentes y proporciona estabilidad a toda la estructura durante el maquinado. La Figura 11 muestra el diseño CAD de la estructura y la Tabla 6 detalla todos sus componentes.

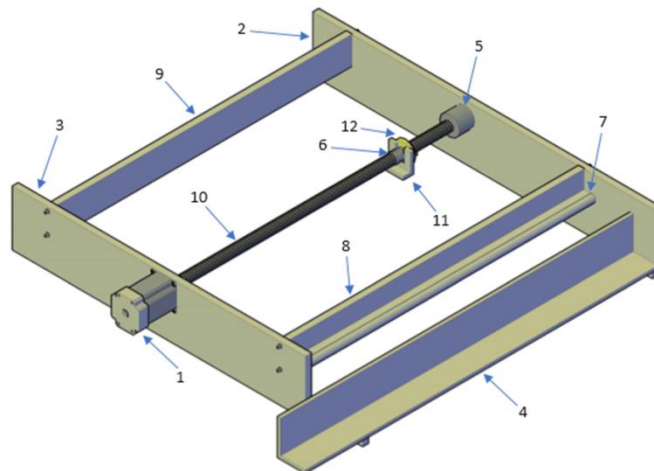


Figura 11 Diseño CAD de la estructura del eje Y [fuente propia]

Tabla 6 Partes de la estructura de la mesa

No.	Nombre de la pieza
1	Motor PAP
2	Cara frontal
3	Cara trasera

4	Angulo soporte derecho
5	Balero
6	Acople
7	Guía lateral
8	Cara lateral derecha
9	Cara lateral izq.
10	Huesillo Y
11	Soporte rodamiento
12	Arandela plástico

3.3.3 Estructura del eje X.

En la Figura 12 se observa el diseño de la estructura para el eje X. Esta estructura presenta un eje tuerca-tornillo de 3/8", un eje guía para mejorar la precisión del movimiento y dos rieles para tener un mejor desplazamiento. La descripción de sus partes se evidencia en la Tabla 7 [33].

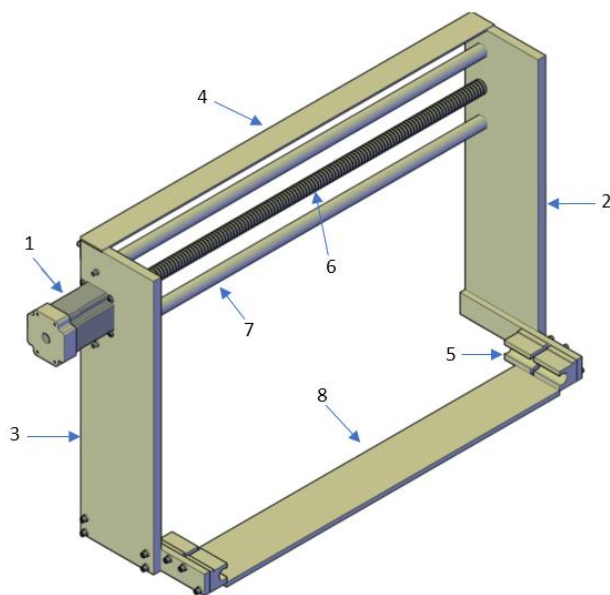


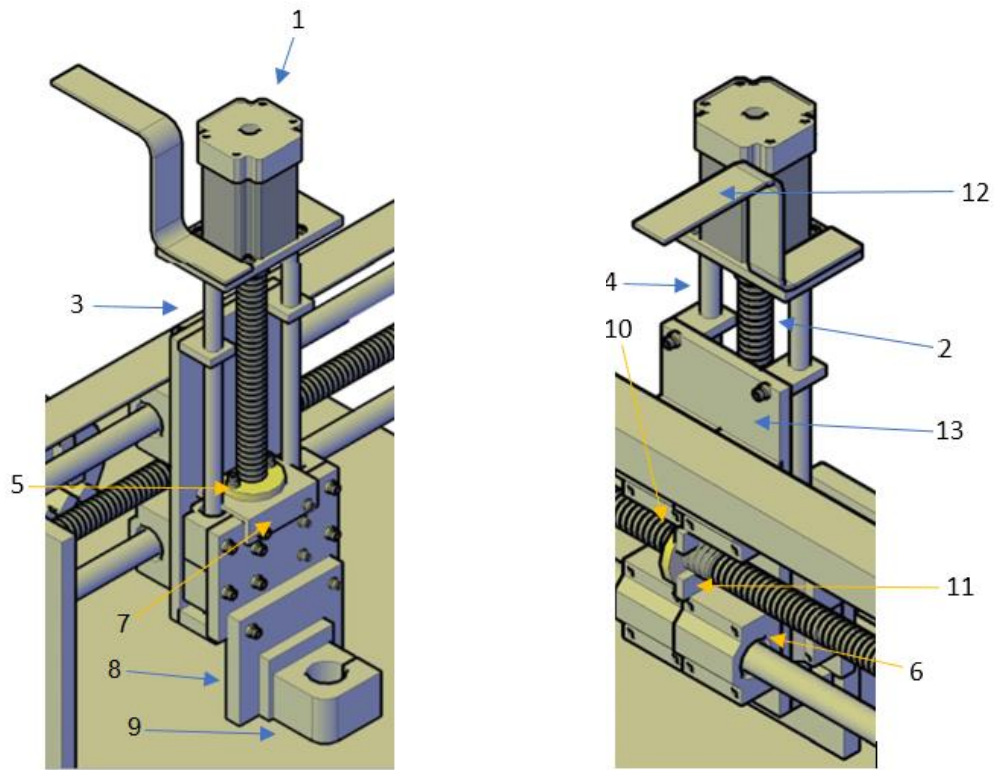
Figura 12 Estructura del eje X [Fuente propia].

Tabla 7 Partes de la estructura del eje X.

No.	Nombre de la pieza
1	Motor
2	Cara lat.der
3	Cara lat.izq
4	Angulo superior
5	Chumacera
6	Huesillo X
7	Guía X
8	Cara inferior

3.3.4 Estructura del eje Z

En la Figura 13 se observa el diseño CAD de la estructura para el eje Z en vista frontal y trasera. Para esta se utilizan dos soportes inferiores de aluminio cuya función principal es equilibrar todo el peso del eje Z a lo largo de todo el eje X, garantizando así la uniformidad del movimiento de la misma al momento de aplicar la fuerza del desplazamiento transmitida por el motor paso a paso mediante el acoplamiento con el eje principal. Igualmente en el eje Z se utiliza una tuerca-tornillo de 3/8", el cual es el encargado del desplazamiento del eje Z, y un riel ubicado en la parte trasera para mejorar el movimiento. La Tabla 8 contiene la información correspondiente a las partes que conforman esta estructura[33].



a) Vista frontal.

b) Vista trasera.

Figura 13 Estructura del eje Z [Fuente propia].

Tabla 8 Partes de la estructura del eje Z.

No.	Nombre de la pieza
1	Motor
2	Huesillo
3	Guía Z derecha
4	Guía Z Izq.
5	Arandela plástica
6	Chumacera
7	Soporte arandela
8	Cara soporte taladro
9	Soporte taladro
10	Arandela trasera
11	Soporte aran. trasera
12	Soporte cables

3.3.5 Estructura del eje A.

En la Figura 14 se observa el diseño de la estructura para el eje A. Para esta estructura se utilizan dos caras o perfiles de aluminio cuya función principal es equilibrar la fuerza del motor, garantizando así la uniformidad del movimiento de la estructura al momento de aplicar la fuerza del desplazamiento transmitida por el motor paso a paso mediante el acoplamiento de una polea que permitirá el movimiento del mandril, para con ello, dar rotación al material a desbastar (ver Tabla 9 detalle de componentes).

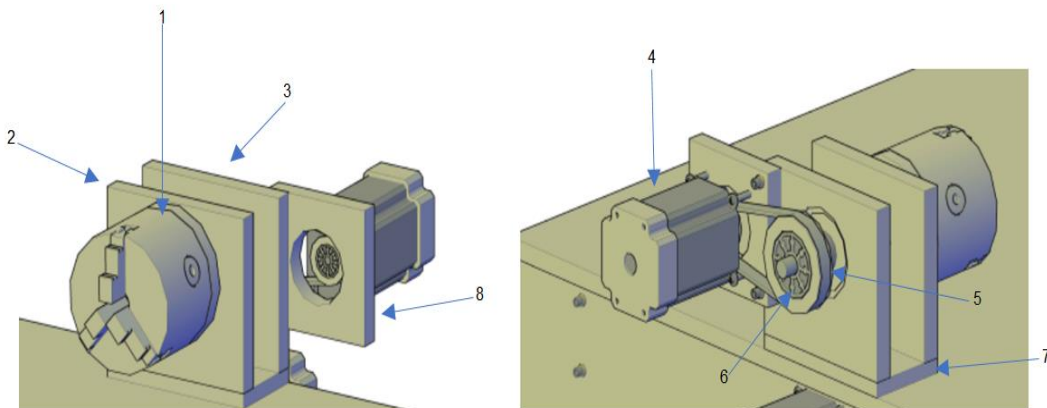


Figura 14 Estructura del eje A [Fuente propia].
Tabla 9 Partes de la estructura del eje A.

No.	Pieza
1	Mandril
2	Cara fron mandril
3	cara trasera, soporte mandril
4	Motor
5	Polea
6	Balinera
7	Soporte inferior estrc.A

3.3.6 Soporte de la herramienta de corte.

El diseño CAD de la estructura que soporta la herramienta de corte se evidencia en la Figura 15. Esta al igual que los ejes X y Y presenta un eje tuerca-tornillo de 3/8", cuenta con un cajón externo, el cual es desplazado por el eje que transmite el movimiento lineal. La implementación del cajón y el soporte ayudan a que el desplazamiento que se presenta a lo largo del eje Z sea uniforme y con mayor precisión[33].



Figura 15 Soporte para la herramienta de corte [Fuente propia].

3.3.7 Ensamble del subsistema mecánico

Finalmente la Figura 16 es el ensamble generado en el software CAD donde se tiene la Mesa de trabajo, el Estructura del eje X, Estructura del eje Y., Estructura del eje Z y A, y el Soporte de la herramienta de corte, con la finalidad de validar el diseño y simular el movimiento de la máquina para así tener un cierto grado de seguridad al realizar la implementación.

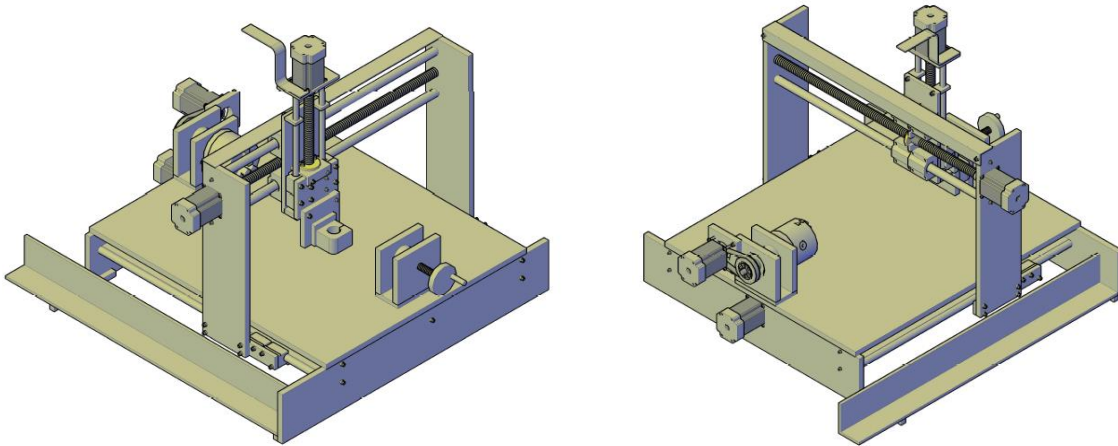


Figura 16 Ensamblaje de la maquina fresadora CNC [Fuente propia].

3.3.8 Cálculos para la estimación de las dimensiones del husillo.

Para el proceso de diseño de la rosca cuadrada resulta útil el esquema de la Figura 17 y las siguientes ecuaciones:

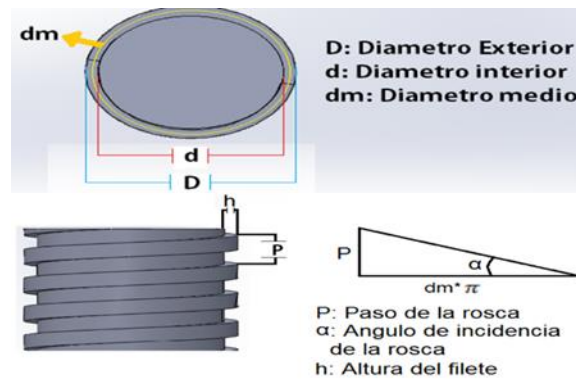


Figura 17 Diseño de la rosca cuadrada[34].

La ecuación (1) relaciona el paso de la rosca (P) con el diámetro exterior (D).

$$P = 0,2 * D \quad (1)$$

Posteriormente con la ecuación (2) es posible calcular la altura del filete (h).

$$h = 0,5 * P \quad (2)$$

Una vez hallado h , se puede deducir el diámetro inferior (d) con la ecuación (3).

$$d = D - 2h \quad (3)$$

Con estos datos, es posible calcular el diámetro medio (dm) con ayuda de la ecuación (4).

$$dm = \frac{D + d}{2} \quad (4)$$

A continuación, la Figura 17 permite establecer la relación del ángulo de incidencia (α) ya que por trigonometría llegamos a la ecuación (5).

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{P}{dm * \pi} \right) \quad (5)$$

Con los datos anteriormente obtenidos y la información presentada en la Tabla 10, es necesario calcular el par de torsión con la ecuación (6).

Tabla 10 Coeficientes de fricción metal-metal.

Superficie de contacto	μ estático	μ cinético
Metal sobre metal seco	0.2	0.1
Metal sobre metal engrasado	0.1	0.05

$$T = \frac{F * dm * (1 + \pi * \mu * dm)}{2 * (\pi * dm - \mu * L)} \quad (6)$$

De donde:

- T : Torque o par de torsión
- F : Carga a mover

- μ : Coeficiente de rozamiento entre el tornillo y la tuerca (para este caso se la superficie de contacto es aluminio engrasado)
- L : Avance o desplazamiento lineal de la tuerca en una vuelta (para la rosca cuadrada es igual al paso P)

El único parámetro que hace falta estimar es F , el cual se toma como la fuerza requerida para iniciar el movimiento de la(s) masa(s) sobre la estructura rígida (Fuerza cinética inminente $F_{c_{max}}$), se propone tomar el diagrama de fuerzas mostrado en la Figura 18 que corresponde a cuando el carro se mueve de derecha a izquierda.

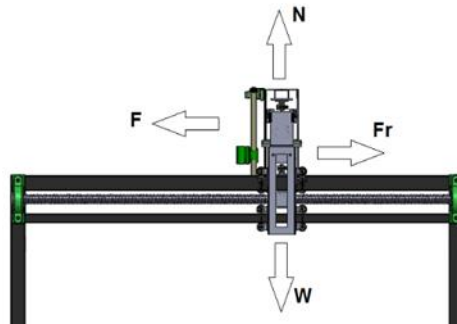


Figura 18 Diagrama de fuerzas en el carro longitudinal [Fuente propia].

De aquí:

- F : Magnitud de la fuerza para mover el puente de derecha a izquierda.
- N : Es la fuerza normal, la cual es igual al peso, por lo tanto $N = W$ y en consecuencia $W = m * g$, m es la masa del puente medida en kilogramos y g es el valor de la gravedad estimado como $9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$
- Fr : Es la fuerza de rozamiento, producida por la fricción entre el puente y la base, ya que se utilizaron balineras para disminuir el rose la Figura 19 se utiliza para establecer un diagrama dinámico con el fin de calcular la fuerza de rozamiento.

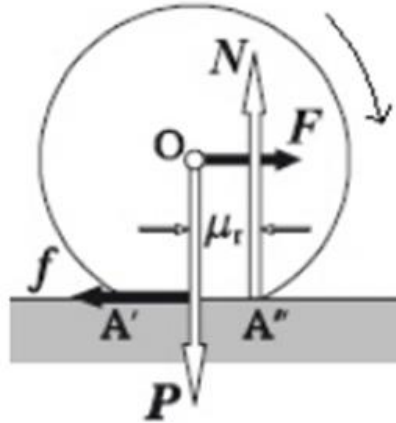


Figura 19 Diagrama de fuerzas presentes en un cilindro[35].

En la Figura 19, N representa la fuerza normal, F la fuerza aplicada, A' fin de contacto con la superficie, A'' inicio de contacto con la superficie, f la fuerza de resistencia de la rodadura, μ_r coeficiente de resistencia de la rodadura y P es el peso. Sabiendo que $F = f$, haciendo la sumatoria de fuerzas en el eje X y despejando F se obtiene:

$$F = \frac{\mu_r}{R} * N$$

Este resultado es la fuerza $F_{C_{max}}$ el cual representa la fuerza capaz de iniciar el movimiento de la estructura móvil.

Finalmente los resultados obtenidos para los Husillos X, Y, Z y A se ilustran en la Tabla 11.

Tabla 11 Resultados teóricos para cada husillo de la maquina [Fuente propia]

	Husillo X	Husillo Y	Husillo Z	Husillo A
D	31.75 [mm]	25.4 [mm]	19.05 [mm]	19.05 [mm]
P	6.35 [mm]	5.08 [mm]	3.81 [mm]	3.81 [mm]
h	3.175 [mm]	2.54 [mm]	1.905 [mm]	1.905 [mm]
d	25.4 [mm]	20.32 [mm]	15.24 [mm]	15.24 [mm]
dm	28.575 [mm]	22.86 [mm]	17.145 [mm]	17.145 [mm]
α	4.04			

m	34.915 [Kg]	10.1 [Kg]	3 [Kg]	2.5 [Kg]
g	9.8 [m/s^2]			
N	342.16 [N]	98.98 [N]	29.4 [N]	29.4 [N]
R	15 [mm]	-		
μ_r	1 [mm]	-		
μ_{rr}	0.066	0.18	0.18	
Fc_{max}	22.81 [N]	6.6 [N]	5.292 [N]	5.292 [N]
T	3.74 [N-m]	1.08 [N-m]	0.862 [N-m]	0.862 [N]

CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUINA CNC DE 4 GRADOS DE LIBERTAD.

En este capítulo se describe la implementación de la máquina CNC de 4 GDL, detallando cada componente.

4.1 SUBSISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO.

Este subsistema contiene los componentes hardware a nivel eléctrico y electrónico para el correcto funcionamiento de la máquina. Los componentes se seleccionaron en base a la literatura, el costo y cuya adquisición en el comercio fuera fácil. Entre los componentes a tener en cuenta tenemos: motores, drivers, tarjeta de comunicación, computador, *spindle* (o *motor tool*) y la alimentación.

4.1.1 Motores.

Para el desplazamiento de la herramienta a diferentes posiciones de la maquina se pueden utilizar 2 tipos de motores: Paso a paso (PAP) o servomotores. En cuanto a los motores PAP sus entre sus características esta que se utilizan para pequeñas/medianas aplicaciones. Los habituales son de 200 pasos (1.8°) hasta 400 pasos pero con las controladoras modernas que permiten aumentar las resoluciones hasta 1/32 de paso no siempre está justificado su coste. Su principal ventaja es el precio y el tamaño, sin embargo, el ser un sistema en lazo abierto no indica errores[36].

Los servomotores por su parte son de construcción convencional de escobillas (4 escobillas) o la tendencia actual brushless con control electrónico de posición. Trabajan acoplados a una reductora de precisión e incluyen un sensor de posicionamiento para gestionar la posición. Para completar el sistema una controladora específica coordina la velocidad y aceleración del motor, así como el

error de posición. Los torques y sobretodo las velocidades alcanzadas son muy superiores a los PAP, pero por contra su coste es también bastante más elevado. Aunque son sistemas en lazo cerrado (disminuyendo errores de precisión) son de mayor tamaño y su interfaz eléctrica tiene mayor consumo de energía[36].

A raíz de lo expuesto anteriormente, se eligieron los motores PAP, puesto que, la máquina está pensada para aplicaciones en publicidad y corte de madera. Como se observa en la Figura 20 los pulsos eléctricos provienen de los driver de potencia y tienen una secuencia específica. Los motores mediante un embobinado generan campos magnéticos que polarizan el estator y mueve el rotor un determinado ángulo por pulso.

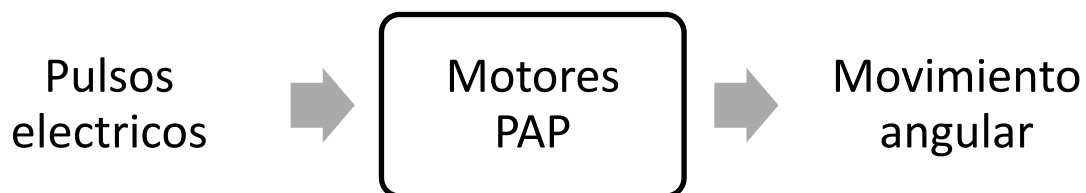


Figura 20 Lazo de control abierto para los motores paso a paso [Fuente propia].

Uno de los factores más relevante para la selección del motor es el torque necesario para iniciar el movimiento, en la sección 3.3.8 se realiza el procedimiento para estimar dichos valores y la Tabla 11 nos muestra los resultados obtenidos. Sin embargo son resultados teóricos en condiciones ideales, por lo que hay otros aspectos a tener en cuenta, por ejemplo:

Para el Husillo X: El torque teórico para iniciar el movimiento del puente es $3.74 [N - m]$, pero hay que tener en cuenta el ajuste que deben tener las balineras con la estructura rígida (rieles de guía), la longitud del puente ya que genera una torsión adicional que las balineras tratarán de corregir; pero así mismo necesitará más par para compensarlo, la lubricación de los rodamientos, el desgaste a largo plazo y la fuerza de oposición de los cables conectados al mismo motor [66]. Por

lo expuesto anteriormente se estima utilizar un motor PAP para el husillo X al menos del doble de los cálculos realizados ($6.3 [N - m]$), se eligió específicamente el motor 103H7126-1451 de Sanyo Denki y se decide utilizar la misma referencia para el Husillo Y ya que debe soportar cargas semejantes. Para los Husillo Z y A, aunque requieren poco torque ($0.864 [N - m]$) se decidió utilizar la referencia (103H7126-1451 de Sanyo Denki) para compensar los ejes.

Las características de la referencia mencionada son: Es un motor de 6 cables, que tiene una corriente de consumo de $3 [amp]$, un torque máximo de $6.27 [N - m]$, voltaje de operación de $24 [V]$ Corriente Directa (DC) y un giro de 1.8° por paso.

4.1.2 Drivers.

Teniendo en cuenta que se seleccionó un motor PAP con una corriente de consumo de $3 [amp]$ es necesario seleccionar un driver capaz de trabajar en dichas condiciones. La referencia adecuada de driver que cumple las condiciones es el TB-6660⁴, entre sus ventajas se puede mencionar: Protección sobre voltajes y bajos voltajes, entradas para habilitar e inhabilitar el driver, aislamiento entre la etapa de control y la etapa de potencia. Las características según el fabricante están en la Tabla 12 a una temperatura ambiente de $25 [^\circ C]$.

Tabla 12 Datos técnicos del driver TB-6660.

Parámetros	TB-6660			
	Min	Típico	Max.	Unidad
Corriente de salida	0.2	-	5	A
Voltaje de operación	12	38	50	Vdc
Señales lógicas de corriente	7	10	16	mA

⁴ <https://www.automationtechnologiesinc.com>

Frecuencia de pulsos de entrada	0	-	100	KHz
Resistencia de aislamiento	500	-	-	MOhm

Una de las principales ventajas del driver TB-6660 es que permite variar la corriente mediante configuraciones *DIP SWITCH* lo que permite realizar 9 combinaciones para ajustar el consumo de corriente al motor (ver Tabla 13).

Tabla 13 Configuración de corrientes DIP switch.

Switch 3	0	1	0	1	0	1	0	1
Switch 2	0	0	1	1	0	0	1	1
Switch 1	0	0	0	0	1	1	1	1
Corriente (amp)	2	2.57	3.14	3.71	4.28	4.86	5.43	6

Los motores PAP elegidos, se caracterizan por tener movimiento angular de 1.8° por pulso, esto quiere decir que 200 pulsos generan una revolución; El driver elegido cuenta con una configuración de transistores que permiten generar micro pasos obteniendo mayor resolución y precisión, la Tabla 14 muestra las combinaciones de los DIP SWITCH que permiten graduar los micro-pasos para el ajuste requerido según la aplicación.

Tabla 14 Configuración de los micro pasos del DIP switch.

Sw 8	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Sw 7	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
Sw 6	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
Sw 5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Micro pasos	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/5	1/10	1/25	1/50	1/125	1/250

4.1.3 Tarjeta de comunicación.

Las *breakout board*, son tarjetas de comunicación por puerto paralelo (aunque actualmente se pueden conseguir con USB) son la interfaz entre el computador y los driver de potencia. Cumplen 2 funciones en general:

- Interpretar las señales provenientes del computador.
- Aislar la etapa de control de la etapa de potencia mediante acoplamientos opto-electrónicos.

La Figura 21 muestra el flujo de información que entra y sale a través de la tarjeta de comunicación.



Figura 21 Datos de entrada/salida en la tarjeta de comunicación [Fuente propia].

El aspecto del conector se evidencia en la Figura 22 y la correspondencia de cada pin del puerto paralelo tiene una función específica en el control de la maquina CNC como se evidencia en la Tabla 15.



Figura 22 Distribución de pines del puerto paralelo

Tabla 15 Pines y funciones del puerto paralelo [Fuente propia].

Pines	Función
1	A habilitar
2	Paso X
3	Dirección X
4	Paso Y
5	Dirección Y
6	Paso Z
7	Dirección Z
8	Paso A
9	Dirección A
10	E-Stop
11	Z-límite
12	Y-límite
13	X-límite
14	X-habilitar
15	Entrada auxiliar
16	Y Activar
17	Z Habilitar
18-25	GND

Funcionamiento de la tarjeta de comunicación.

El primer paso que realiza la tarjeta es recibir la señal del puerto paralelo mediante el DB25, enviando la señal al transceptor octal 74HC245D para garantizar una señal de pulsos estable (se caracteriza por la rápida respuesta a las señales de entrada), luego estas señales llegan a los diferentes opto-acopladores EL-817, los cuales poseen internamente un diodo infrarrojo que se activa con los pulsos de

entrada y permite activar un foto-transistor que puede manejar mayor voltaje. En caso de haber un corto circuito producido por diferentes factores (estáticos, fallas humanas, calentamiento excesivo, sobre carga de corriente, etc.), estos integrados evitan que la sobre-corriente llegue al controlador y le produzca un daño irreversible.

La salida 1 es una señal de pulsos que al ser activada, envía una señal discreta de pulsos secuenciales (cada pulso indicará un paso del motor) hacia los drivers para mostrar las revoluciones a la que debe girar el motor PAP. La tarjeta permite hasta 5 salidas para controlar la misma cantidad de motores, pero en éste proyecto solo se usarán 3 salidas de pulsos.

La salida 2 es una señal de dirección que al igual que la señal de pulsos, envía una señal discreta secuencial, indicando el sentido de giro del motor; ésta señal siempre es enviada antes de la señal de pulsos, permitiendo con antelación, la polarización del motor.

La salida 3 se utiliza como señal de energizado del spindle: haciendo uso del relé que posee la tarjeta, se pretende *switchear* señales de alta potencia con el fin de conmutar el encendido del spindle (*mototool*).

La tarjeta seleccionada como componente de tarjeta de comunicación es la *breakout board X5 ST-V2*, mostrada en la Figura 23, indicando las diferentes entradas y salidas, donde se conecta la fuente de voltaje y otros componentes importantes a tener en cuenta en la conexión con los demás dispositivos.

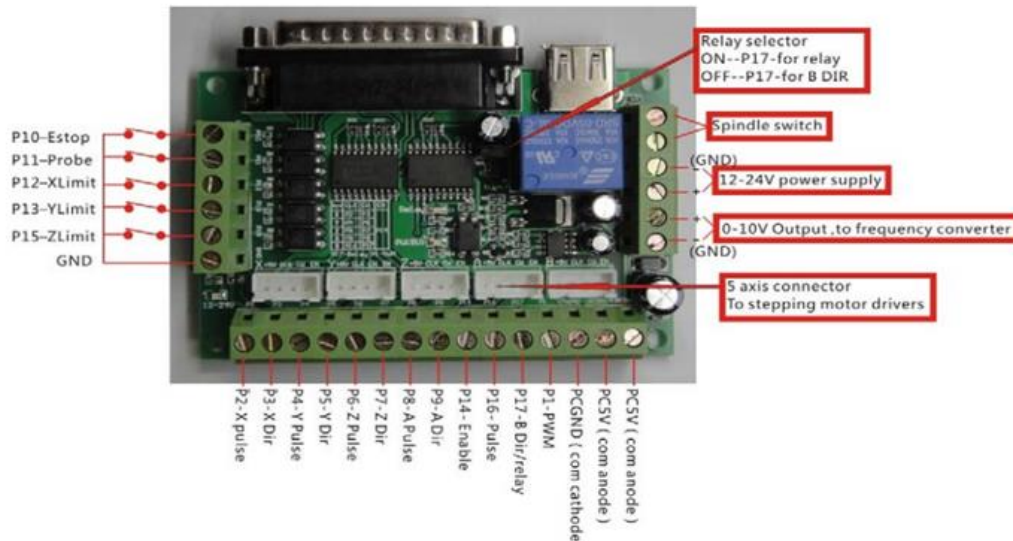


Figura 23 Breakout Board 5 axis ST-V2, distribución de entradas y salidas.

4.1.4 Computador.

Teniendo en cuenta que el computador debe soportar el uso de determinadas herramientas software que se abordan en la sección 4.2, el equipo debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Computador que posea un puerto paralelo.
- El sistema operativo debe ser de 32 bits (ya que el software seleccionado no soporta arquitecturas de 64 bits).
- Procesador mínimo de 1 GHz.
- Memoria RAM de 512 MB.

Como se observa en la Figura 24 hay 3 señales de entrada al computador provenientes de los periféricos, el software de diseño CAM y la alimentación, la salida que genera el computador es de lógica digital.

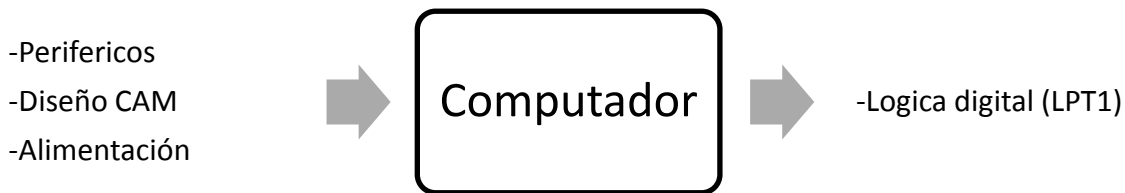


Figura 24 Datos de entrada/salida al computador [Fuente propia]

Se habla de los periféricos puesto que desde ellos es posible realizar control manual de la CNC, el diseño CAM es el que genera el código de máquina para ser leído por el pos-procesador y la alimentación es la energía que requiere el computador para funcionar (110 VAC). Por su parte la salida LPT1 es una señal lógica proveniente del puerto paralelo configurado en todo computador por defecto con la ruta 0x378 (posición en hexadecimal para indicar el puerto de impresora en la tarjeta madre); el cual se encarga de enviar y recibir voltajes de 0 y 5 Vdc con corriente máxima de 10mA por los pines de registro, estado y de control.

4.1.5 Spindle o *moto tool*.

El *moto tool*⁵ es el componente responsable de la rotación de la herramienta de corte en la máquina. Para elegir un *moto tool* apropiado para el router, se consideró que tenga un voltaje de operación de 110V AC (de acuerdo con el voltaje local), que tenga una geometría cilíndrica para facilitar la sujeción en el eje Z (cabezal), que su tamaño sea reducido, de alta potencia y por último que sea preferiblemente para mecanizado de materiales blandos (ya que se espera utilizar la máquina sobre este tipo de materiales). El spindle debe ser de un tamaño pequeño, ya que el conjunto de componentes del cabezal (eje Z) ocupa parte de la longitud útil del eje X; entonces entre más alto es el tamaño del motor, menor sería

⁵ Es una herramienta de desbaste rotatorio que combina alta velocidad y rendimiento para servir como grabador, afiladora, pulidora, lijadora, cortadora, cepillo de potencia y más.

el área de trabajo eficaz del eje Z. Las características del moto tool seleccionado se evidencian en la Tabla 16.

Tabla 16 Especificaciones del moto tool [Fuente propia].

Componente	Características
Referencia	Moto tool Dewalt
Modelo	DWE 4887 B3
Velocidad Máxima	25.000 Rpm
Voltaje	120 V
Frecuencia	60 HZ
Potencia	450 W
Colet	1/4" y 1/8"
Corriente	4.5 A

4.1.6 Alimentación.

Se seleccionó como fuente de poder la S-320-36 para la alimentación eléctrica de la máquina ya que tiene salidas de voltaje de hasta 36 VDC y una corriente de 8.8 [amp].



Figura 25 Fuente de poder S-320-36.

4.2 SUBSISTEMA SOFTWARE.

El subsistema software se encarga de generar las órdenes en el computador para traducirlas en movimientos para la máquina.

4.2.1 Partes del subsistema software

La Figura 26 ilustra el proceso para enviar al hardware la orden de maquinado de una pieza.



Figura 26 Flujo a nivel software para el maquinado de la pieza [Fuente propia].

El software CAD es la herramienta donde se prototipo, establecen las medidas y las formas que se quieren dar a la pieza, luego ese modelo es enviado al software CAM donde se establecen las restricciones a la máquina CNC, se especifica el tipo de trabajo que se quiere realizar (corte, grafilado, torneado, pulido, entre otros) y se define la herramienta de corte o maquinado. Finalmente al ubicar el

diseño en el plano real de la máquina, el programa define las trayectorias. Una vez definida esta información el software genera un código estándar capaz de ser usado en cualquier máquina. Posteriormente el pos-procesador industrial, es un software especializado en operar máquinas conectadas a un computador, mediante la manipulación de los periféricos. El pos procesador descifra el código estándar proveniente del software CAM y se interpreta como una interpolación de puntos en el plano cartesiano que posteriormente se convierten en trayectorias físicas realizadas por la máquina CNC obteniendo el trabajo final. En la Tabla 17 se listan las herramientas software disponible para cada uno de los procesos llevados a cabo dentro del subsistema.

Tabla 17 Software disponibles para el subsistema [Fuente propia].

Software CAD	Software CAM	Software Pos-procesado
CorelCAD	BobCAM	Mach3
SolidWorks	SolidCAM	LinuxCNC
SolidEdge	ArtCAM	Caliper2PC
AutoCAD	Cut2D	BaldorHPGL
Inventor	Cut3D	
BobCAD	Photovcarve	
FreCAD	MasterCAM	
Vectric Aspire	PyCAM	

Es importante tener en cuenta que los software exporten en formatos compatibles entre CAD y CAM, estos formatos son: “.dxf”, “.dwg”, “.pdf”, “.scad”, “.iv”, “.svg”, entre los más conocidos. La finalidad del software CAM es generar un archivo de texto conocido como el *G-Code*, el cual es un lenguaje de programación secuencial desarrollado para las maquinas CNC.

Finalmente el pos-procesador se encarga de leer los formatos del software CAM y posterior ejecución de los comandos preparatorios para realizar los movimientos

de la máquina CNC. Algunos software CAM licenciados como el *BobCAM* y el *MasterCAM*, poseen un post-procesador embebido que ejecuta las acciones directamente hacia una interfaz conectada al computador [L. F. P. Velasco, Implementacion de una maquina cnc con corte por plasma para el taller inducol, Popayan, Colombia, 2015.] .Sin embargo hay software especializado que usa el recurso del computador para interpretar dichos códigos y así mismo, gobernar el/los periférico(s) enviando señales lógicas para controlar el estado y trayectorias de las máquinas CNC.

Industrialmente se encuentran Pos-procesadores embebidos en PLC's, PAC's o en algún otro controlador de alta gama, capaz de manejar máquinas de hasta 5 ejes sin ningún problema. Lógicamente el costo de estos sistemas es elevado y requieren de un técnico capacitado para el manejo del mismo.

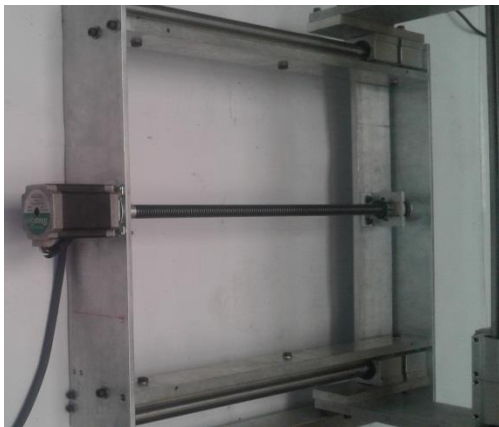
Como dato, otros Pos-procesadores presentes en el control de máquinas CNC usan microcontroladores PIC y Arduino, lo cual minimizan los costos de producción para su aplicación. No obstante, se encuentran algunas falencias, como la velocidad de comunicación, sensibilidad a perturbaciones externas como el ruido y sobre tensiones, complejidad del código y posible limitación en el manejo de muchos ejes. Por lo cual son usados en el desarrollo de máquinas artesanales que no requieran procesos rigurosos ni trayectorias extensas.

Para este proyecto se eligió utilizar *Vetric Aspire* como herramientas CAD/CAM y la versión licenciada de *Mach3* como software de pos-procesado, puesto que ofrece bondades en el control de diversos tipos de máquinas CNC, lee los formatos del "código G" enviados por el software CAM, posee una interfaz interactiva que permite manejar la máquina en modo manual y la opción de generar el código G de forma manual. Además, no consume mucho recurso del computador para ejecutar sus operaciones. Al usar la versión de prueba, viene limitado a 500 líneas de código, se restringe el uso del control de altura para las máquinas de corte, desactivan la función de roscado para tornos CNC, la

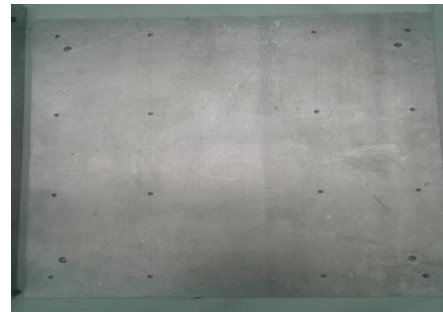
frecuencia de comunicación solo se puede configurar a 25KHz y restringe algunos comandos del “código G”.

4.3 INTEGRACIÓN Y PRUEBAS.

La Figura 27 muestra las partes reales de los diseños CAD presentados en la sección 3.3. Las partes fueron mandadas a hacer en aluminio y con un tornero los empaques plásticos que se unen con los rodamientos.



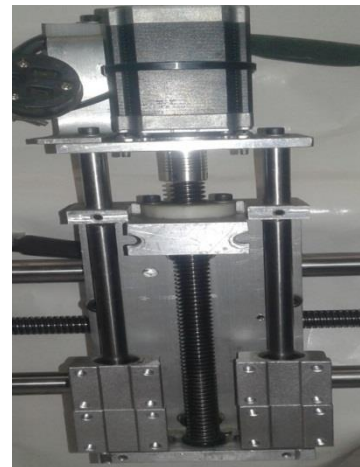
a) Estructura del eje Y



b) Mesa de trabajo



c) Estructura del eje X



d) Estructura del eje Z y soporte de la herramienta de corte

Figura 27 Partes reales del subsistema mecánico [Fuente propia]

4.3.1 Proceso de maquinado de formas 2D (Desaciertos)

Las pruebas iniciales de funcionamiento, como se observa en la Figura 28 consistieron en el acople de una fresadora de un cuarto de pulgada como herramienta de grabado para realizar el dibujo de figuras básicas como círculos sobre madera, comprobando la tolerancia máxima de precisión de la máquina.



Figura 28 Seguimiento de trayectoria 2D con fresa de ¼” [Fuente propia]

La Tabla 18 y la Figura 29 muestran los resultados utilizando una figura circunferencia que tiene un diámetro de 5 *cm*, donde se probó un grabado de un total de 6 piezas, Después se midió el diámetro de cada pieza elaborada utilizando un calibrador electrónico Pie de Rey.

Tabla 18 Diámetro y Área de las 6 piezas grabadas con la maquina [Fuente propia].

N° pieza	Medida de corte / cm
1	3,981
2	4,589
3	4,824
4	2,987

5	3,013
6	2,852



Figura 29 Resultado final de las piezas [Fuente propia].

Se evidencia que el promedio de diámetro al repetir el grabado fue de $3,707\text{ cm}$. Identificando que la precisión de la máquina no estaba dentro de la tolerancia máxima de 1 mm , toco realizar cambios de la herramienta de corte a media pulgada y configuraciones externas del software, como rangos de precisión de grabado y velocidad de los motores de los ejes a trabajar, al igual que la estabilidad de la máquina en el momento del trabajo a ejecutar. Con los arreglos mencionados anteriormente se obtuvieron los resultados óptimos de funcionamiento de la máquina (ver Figura 39).

4.3.2 Proceso de maquinado de formas 2D (Aciertos)

A continuación se documenta el proceso para generar una pieza en 2D con todas las etapas del proceso.

Una vez se tiene entendimiento sobre el funcionamiento del software *Vetric Aspire* y *Mach3* se realizan pruebas con figuras más complejas (ver Figura a) pero esta vez empleando la herramienta de corte en el *mototool*, donde se ubica la fresadora de corte de media pulgada en su respectivo lugar y se empieza a hacer el trabajo como se muestra en la Figura b.



a) Forma a cortar



b) Pruebas de corte

Figura 30 Pruebas de corte 2d con la maquina CNC de 4 GDL [Fuente propia]

Aunque es posible diseñar la pieza en algún software, se seleccionó un diseño con formas rectas y arqueadas para validar los movimientos de la máquina. La Figura 31 y Figura 32 muestran el resultado del maquinado de la forma seleccionada y el proceso para programar la maquina CNC respectivamente.



a) Cortes iniciales



b) Cortes intermedios



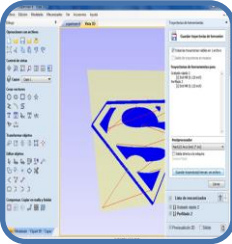
c) Resultado final

Figura 31 Resultados del proceso de maquinado [Fuente propia]



CAD

El software *Vectric Aspire* permite cambiar desde cualquier formato de imagen a .dxf



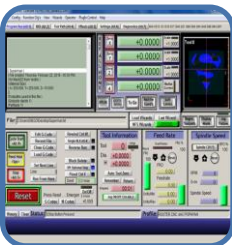
CAM

Con el software *Vectric Aspire* se indica las trayectorias a seguir para los cortes y genera el archivo .txt con el *G-Code*



Pos-procesado

Con el software *Mach3* se realiza la carga del G-code



Una vez cargado el G-Code se puede observar el recorrido previsto por la máquina



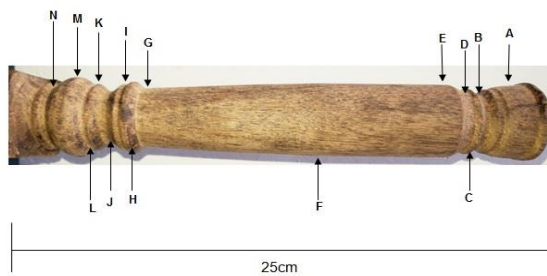
Maquinado

Según como se configure los ejes de coordenadas es necesario alinear el material en el centro o en un extremo

Figura 32 Proceso de maquinado de una figura 2D [Fuente propia].

4.3.3 Proceso de maquinado de piezas 3D (Desaciertos)

En Las pruebas iniciales de funcionamiento se hizo uso de los 4 GDL implementados en la máquina, consistieron en el acople de una fresa de un cuarto de pulgada como herramienta de corte y un bastidor de 25 cm de largo x 5 cm de ancho x 5 cm de profundidad (ver Figura 33 b) para realizar una pata de una mesa con las siguientes medidas de diseño (ver Figura 33 a), $A = 4$ [cm], $B = 3$ [cm], $C = 3,6$ [cm], $D = 3,4$ [cm], $E = 4$ [cm], $F = 3,85$ [cm], $G = 3,2$ [cm], $H = 3,8$ [cm], $I = 2,5$ [cm], $J = 2,8$ [cm], $K = 3,55$ [cm], $L = 3,4$ [cm], $M = 4,2$ [cm], $N = 3,3$ [cm], se comprobaron dicha medidas utilizando un pie de Rey y los resultados se presentan en la Tabla 19 y en la Figura 34.



a) Forma a cortar



b) Pruebas de corte

Figura 33 Pruebas de corte 3d con la maquina CNC de 4 GDL [Fuente propia]

Tabla 19 Diámetro (cm) para cada detalle de las piezas cortadas [Fuente propia].

Nºpieza	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	N.E.	1,29	2,01	2,83	4,19	3,32	3,17	N.E	N.E	2,54	3,03	3,17	N.E	N.E
2	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
3	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	2,98	3,78	2,21



a) Pieza #1



b) Pieza #2



c) Pieza #3

Figura 34 Resultados finales del maquinado de las piezas con forma 3D [Fuente propia].

Se evidencia que los resultados de las piezas diseñadas son erróneos y algunos datos no existen (N.E.) por consecuencia el resultado final de cada pieza no es el esperado ya que presenta graves problemas en la precisión del corte, por lo que toco realizar cambios de la herramienta de corte a media pulgada y configuraciones externas del software como rangos de precisión de corte y velocidad de los motores de los cuatro ejes implementados en la máquina , al igual que más rigidez del material sostenido por el mandril. Con los arreglos mencionados anteriormente se obtuvo el resultado óptimo de funcionamiento de la máquina (ver Figura 35).

4.3.4 Proceso de maquinado de piezas 3D (Acierto)

La Figura 35 ilustra el funcionamiento de la maquina haciendo uso de los 4 GDL implementados en la máquina, es necesario realizar unos acabados finales y limpieza para remover virutas a la pieza 3D para obtener el resultado deseado (ver

Figura 36). Todo el procedimiento a llevar acabo está documentado en la Figura 37.



a) Ubicación de los materiales



b) Proceso de maquinado



c) Resultado sin acabados

Figura 35 Proceso de maquinado de una pieza en 3D [Fuente propia].

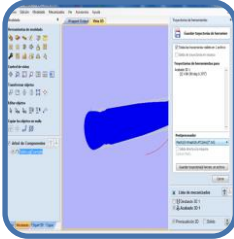


Figura 36 Resultado final de la pieza con acabados [Fuente propia].



CAD

El software *Vectric Aspire* permite cambiar desde cualquier formato de modelos 3D a .dxf



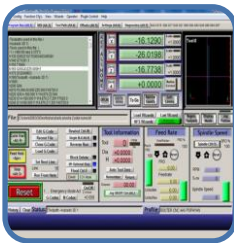
CAM

Con el software *Vectric Aspire* se indica las trayectorias a seguir para los cortes y genera el archivo .txt con el *G-Code*



Pos-procesado

Con el software *Mach3* se realiza la carga del G-code



Una vez cargado el G-Code se puede observar el recorrido previsto por la máquina



Maquinado

Según como se configure los ejes de coordenadas es necesario alinear el material en el centro o en un extremo

Figura 37 Proceso de maquinado de una figura en 3D⁶ [Fuente propia].

⁶ Hay múltiples sitios donde encontrar modelos 3D de libre uso como: <https://www.thingiverse.com>

CAPÍTULO 5 PRUEBAS DE LA MAQUINA CNC DE 4 GRADOS DE LIBERTAD.

Para este capítulo se tiene certeza del correcto funcionamiento de la máquina, por lo que aquí se presentan los resultados para la validación del correcto funcionamiento de la máquina en cuanto a precisión.

5.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS.

La finalidad de las pruebas es validar la precisión de la máquina, para ello se propone probar el maquinado en figuras planas y en figuras con profundidad.

5.1.1 Precisión de corte con figura plana.

Para poder validar el éxito del corte de figuras 2D, se recomienda que las dimensiones de ancho y alto de la plancha a cortar material sea 2 *cm* más que las del diseño a cortar; Con el fin de obtener un corte adecuado, se utilizó una plancha de madera de medidas 40 *cm* x 15 *cm* de alto y ancho respectivamente con un espesor de 0.6 *cm*, además, se conoce el punto donde inicia a cortar la maquina llamada posición de origen *XY*, que se encuentra en la esquina inferior izquierda. Para el diseño CAD y el procesamiento CAM se utilizó el software Vectric.

La pieza a cortar y su diseño se observa en la Figura 38, donde se generan los vectores a mecanizar y las trayectorias de la herramienta, como herramienta se utilizaron fresas de carburo.

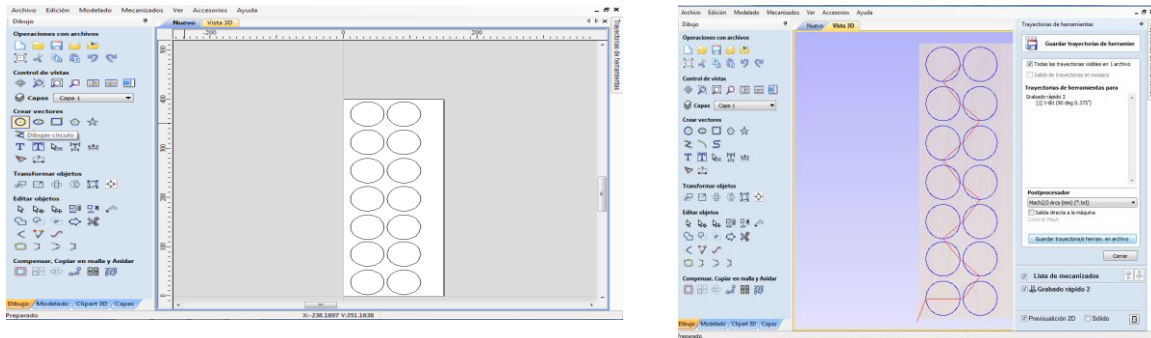


Figura 38 Configuración para el corte de figura plana [Fuente propia].

La Tabla 20 muestra los resultados utilizando una figura circunferencia que tiene un diámetro de 5 cm, donde se probó un grabado de un total de 20 piezas. Después del corte se midió el diámetro de cada pieza elaborada utilizando un calibrador electrónico Pie de Rey.

Tabla 20 Diámetro de las 20 piezas cortadas con la maquina [Fuente propia].

N° pieza	Medida de corte / cm
1	4,99787
2	4,99989
3	5,0013
4	4,99689
5	4,99889
6	5,0001
7	5,001
8	4,99798
9	4,99886
10	4,99796
11	4,9998
12	5,0003
13	5,0012
14	4,99698
15	4,9989
16	4,99789

17	4,99896
18	4,99996
19	4,99994
20	4,99998



Figura 39 Resultado del maquinado de la pieza con forma 2D [Fuente propia].

5.1.2 Validación en corte con figura que tiene profundidad.

A diferencia de una pieza plana, en el caso de una pieza 3D o con profundidad, es necesario seleccionar el eje de rotación para la generación de coordenadas y trayectorias por parte de la herramienta CAD, en este caso *Vetric Aspire*. Cabe resaltar que el procedimiento consiste en un desbaste de un bastidor de 25 cm de largo x 5 cm de ancho x 5 cm de profundidad para que el software realiza cálculos de profundidad.

Inicialmente es necesario darle forma cilíndrica al bastidor para posteriormente realizar los cortes necesarios y darle forma. Una vez guardadas las trayectorias, se realiza el mecanizado para 4 ejes como se observa en la Figura 40.

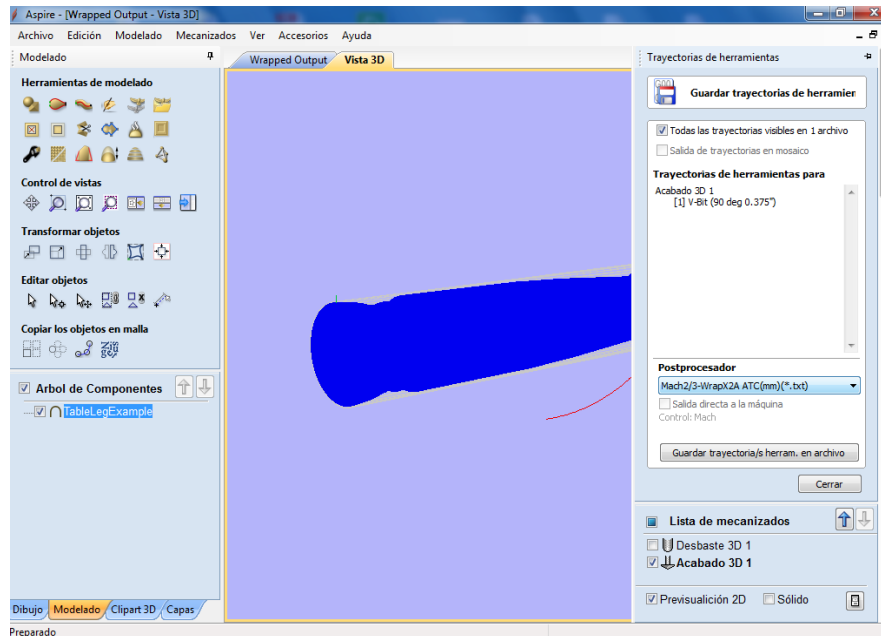


Figura 40 Configuración para el corte de la pieza 3D [Fuente propia].

La Figura 41 ilustra los detalles de interés en el caso de una pieza 3D, para ello se tomaron las siguientes medidas de diseño, $A = 4 [cm]$, $B = 3 [cm]$, $C = 3,6 [cm]$, $D = 3,4 [cm]$, $E = 4 [cm]$, $F = 3,85 [cm]$, $G = 3,2 [cm]$, $H = 3,8 [cm]$, $I = 2,5 [cm]$, $J = 2,8 [cm]$, $K = 3,55 [cm]$, $L = 3,4 [cm]$, $M = 4,2 [cm]$, $N = 3,3 [cm]$ y $25 [cm]$ de largo, las medidas se realizaron utilizando un pie de Rey y los resultados se presentan en la Tabla 21.



Figura 41 Detalles de la pieza 3D [Fuente propia].

Tabla 21 Diámetro (cm) para cada detalle de las piezas cortadas [Fuente propia].

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
3,95	3,0	3,54	3,4	3,98	3,83	3,17	3,8	3,5	2,8	3,5	3,36	4,17	3,23
3,945	2,98	3,54	3,38	3,97	3,81	3,16	3,8	3,49	2,8	3,4	3,35	4,15	3,23
3,96	3,0	3,52	3,38	3,98	3,82	3,19	3,76	3,5	2,78	3,5	3,36	4,17	3,2
3,95	2,99	3,54	3,39	3,98	3,83	3,17	3,8	3,48	2,89	3,48	3,36	4,16	3,23
3,95	2,99	3,53	3,4	3,98	3,82	3,17	3,79	3,49	2,8	3,49	3,35	4,15	3,23
3,96	3,0	3,52	3,38	3,98	3,82	3,19	3,76	3,5	2,78	3,5	3,36	4,17	3,22
3,945	2,98	3,54	3,38	3,97	3,81	3,16	3,8	3,49	2,8	3,4	3,35	4,15	3,23

5.1.3 Resultados.

En el caso de la pieza 2D se evidencia que el promedio de diámetro al repetir el corte fue de 4,99923 *cm* y la Figura 42 que sirve como representación gráfica de la ubicaciones de los respectivos cuartiles de los datos, muestra que los resultados son consistentes ya que no presentan una alta dispersión y la mediana (el valor que divide los datos en exactamente 50 – 50) es un valor de aproximadamente 4,9994 *cm* de diametro.

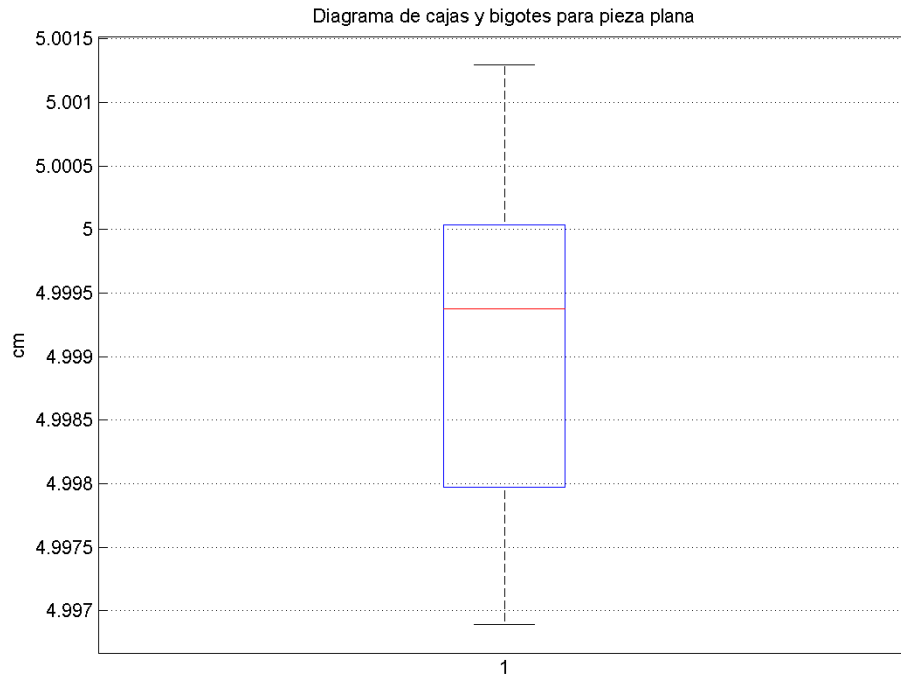
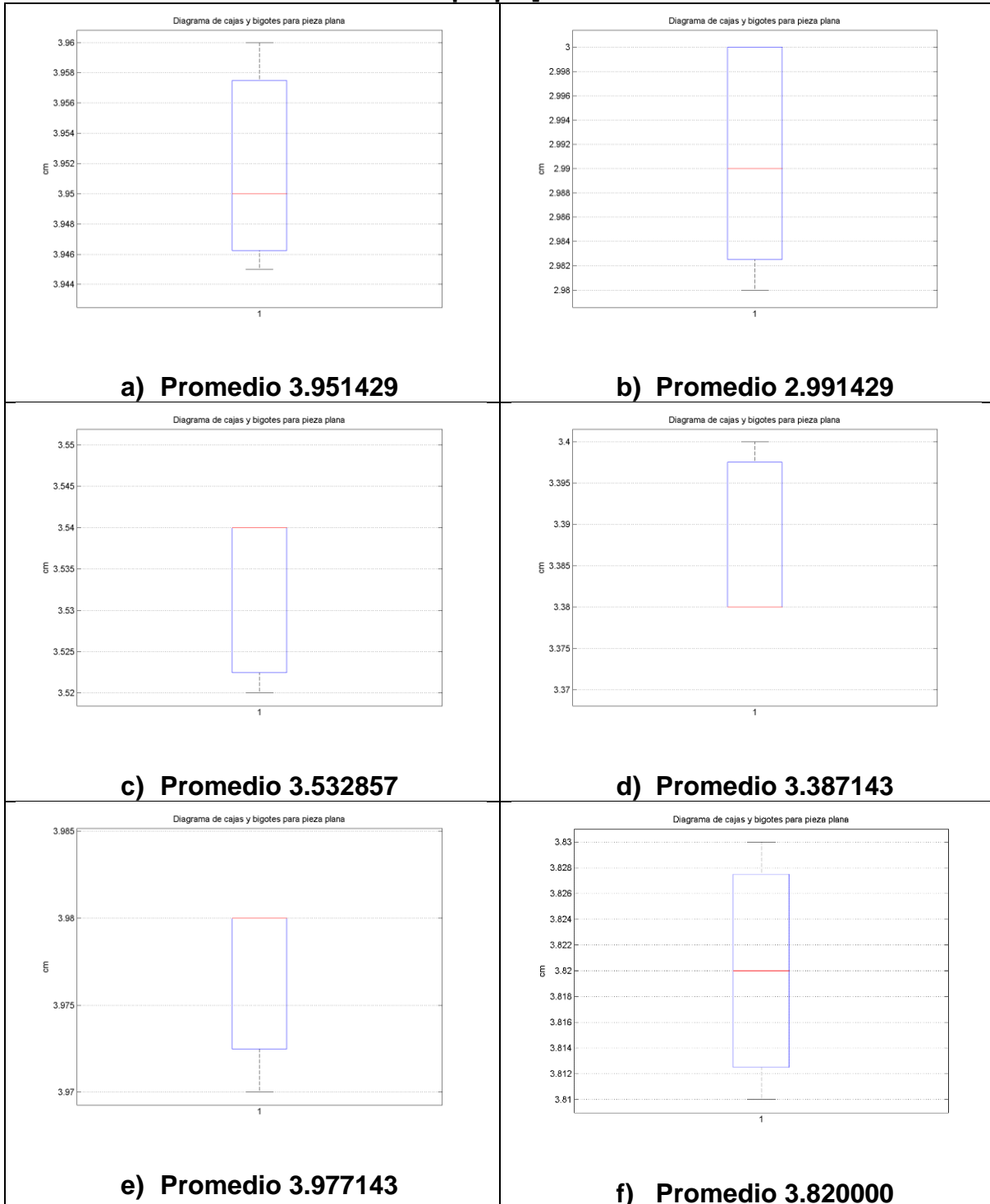
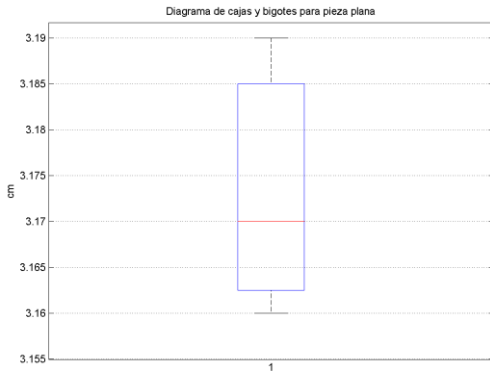


Figura 42 Diagrama de cajas y bigotes para pieza plana [Fuente propia].

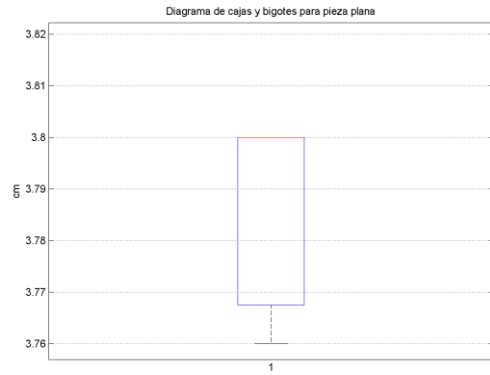
En el caso de la pieza 3D la Tabla 22 resume la dispersión de los datos para cada uno de los detalles de la pieza 3D. Se evidencia en todos los casos la alta precisión de la máquina.

Tabla 22 Resumen de resultados para los detalles de la pieza 3D [Fuente propia].

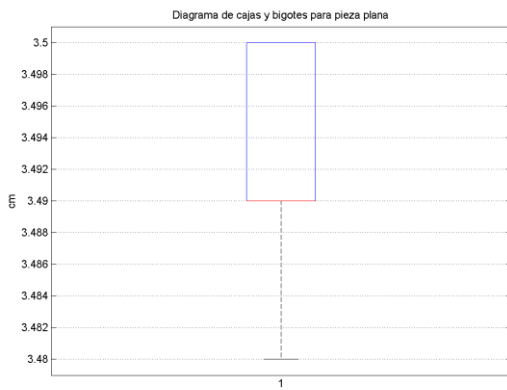




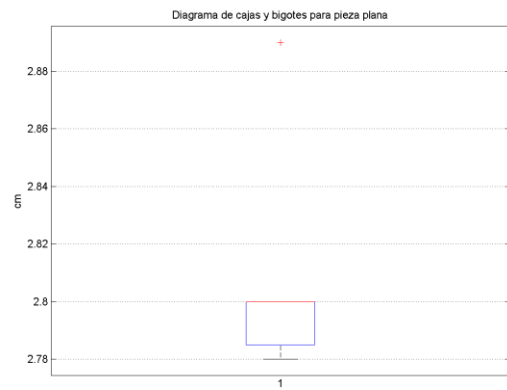
g) Promedio 3.172857



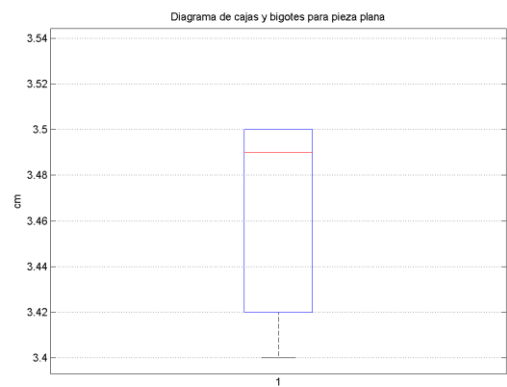
h) Promedio 3.787143



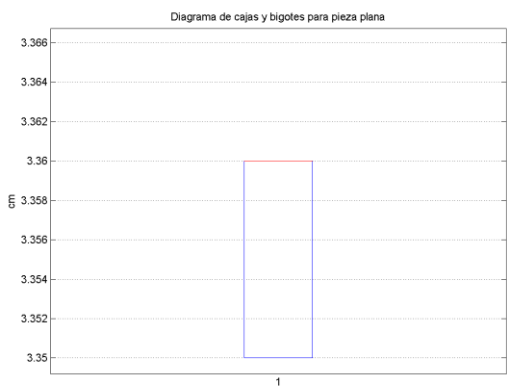
i) Promedio 3.492857



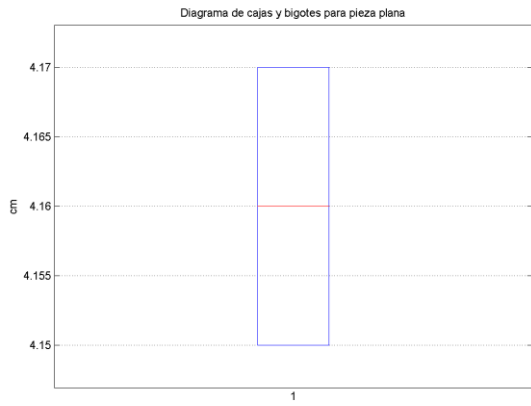
j) Promedio 2.807143



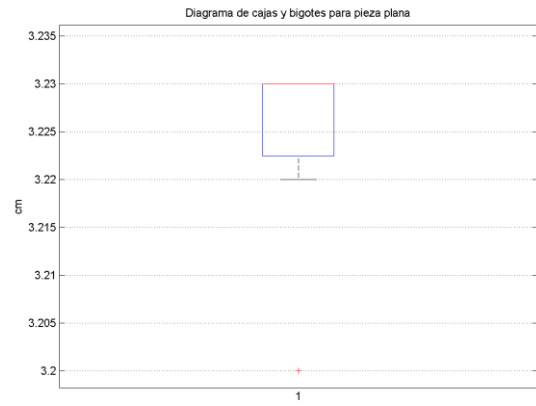
k) Promedio 3.467143



l) Promedio 3.355714



m) Promedio 4.16000



n) Promedio 3.224286

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

En esta sección se muestra las conclusiones del proyecto y los trabajos futuros propuestos para continuar en esta línea de trabajo.

6.1 CONCLUSIONES.

A lo largo del proyecto se mostró el proceso de diseño e implementación de una máquina CNC de 4 GDL partiendo de un prototipo tradicional de 3 GDL.

Este prototipo de maquina CNC de 4 GDL sirve para cortar, grabar y tallar materiales no ferrosos como laminas y bloques de madera, acrílico y galvanizado, multienchape; Como se evidencia en la sección 5.1.3 se estima que la precisión es superior a los 0,001 [*cm*].

El proceso de diseño inicial permite realizar una estimación real de los componentes necesarios para la implementación, disminuyendo el margen de error para la ejecución del proyecto.

Para el prototipo desarrollado se utilizaron componentes comerciales, por lo que cualquiera puede replicar y tener su propia maquina CNC de 4 GDL en casa.

6.2 TRABAJOS FUTUROS.

- Agregar un grado de libertad adicional a la máquina para proporcionarle mayor versatilidad.
- Implementar otras máquinas CNC.

- Realizar más pruebas de precisión a la máquina con otros materiales y figuras más complejas.
- Replicar la máquina en una escala más grande con el fin de expandir el espacio de trabajo.
- Implementar un sistema para manipulación de múltiples herramientas con el fin de recortar el tiempo que implica en el proceso realizar dichos cambios.

6.3 RECOMENDACIONES

Para realizar cortes más finos, con mejores acabados y mayor precisión; se requiere disponer de *moto tool* con refrigeración líquida⁷, el cual genera un corte más eficaz, con mayor calidad y con más tiempo de trabajo.

Para disminuir el ruido a partir del mecanizado se sugiere hacer una carcasa de acrílico.

Para disminuir la cantidad de viruta o material sobrante en el aire se recomienda hacer uso o involucrar una aspiradora al momento del mecanizado.

⁷ <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-473440405-cnc-spindle-22-kw-er20-vfd-110v-refrigerado-por-agua- JM>

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] A. Agudelo and M. Domínguez, “Implementación de un laboratorio básico de control numérico computarizado en la celda de manufactura de la facultad de ingeniería industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira,” Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial, 2012.
- [2] W. D. Núñez Balladares and A. M. Gordón Garcés, “Diseño e implementación de un prototipo de torno fresador de control numérico computarizado para el laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.,” LATACUNGA/ESPE/2013, 2013.
- [3] J. A. Gutiérrez, “La productividad en la industria metalmecánica colombiana,” *Rev. Ciencias Adm. y Soc.*, vol. 7, pp. 51–73, 2010.
- [4] F. Martínez Aneiro, T. Sánchez Battaille, G. Frías Figueroa, and A. Pinilla Vázquez, “Comportamiento del acabado superficial de la pieza y el desgaste de la herramienta al fresar aluminio con altas velocidades de corte en fresadoras CNC convencionales,” *Ing. Mecánica*, vol. 9, no. 2, 2006.
- [5] E. Villarreal, “Prototipo CNC para el torneado en serie de metales,” *Umbral Científico*, no. 12, 2008.
- [6] O. Gómez Niño, “Los costos y procesos de producción, opción estratégica de productividad y competitividad en la industria de confecciones infantiles de Bucaramanga,” *Rev. EAN*, no. 70, pp. 167–180, 2011.
- [7] A. Trujillo, J. Gabriel, and D. R. Cabrera Mendieta, “Implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser,” 2013.
- [8] S. D. E. F. Cnc, “Sistema de fresadora CNC, modelo 5600,” no. 732, 2000.
- [9] N. L. Ospina, P. L. Simanca, J. Á. Díaz, E. M. Zapata, N. Londo, and P. Le, “Descripción del diseño y construcción de un torno de control numérico,” vol. 1, pp. 41–51, 2005.
- [10] F. Acuña and W. Sánchez, “Diseño y construcción de un prototipo de una máquina taladora de control numérico computarizado.,” 2005.
- [11] “mecatronic,” 2018. .
- [12] S. Santos Casal and V. Llarío Sanjuán, “Diseño de un sistema de control

- para una fresadora CNC,” p. 241, 2011.
- [13] G. Amor Alcón and others, “Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia,” 2018.
- [14] J. M. Flores Hernández, “Diseño mecánico del cabezal y el bastidor de una fresadora CNC de 500x500x300 mm con mesa de trabajo tipo plataforma de Gough,” *Pontif. Univ. Católica del Perú*, 2013.
- [15] A. Farinango, M. Dolores, and E. A. Chandi Yépez, “Automotización de una máquina fresadora vertical o tupí,” QUITO/EPN/2007, 2007.
- [16] S. Tárraga Albaladejo and others, “Diseño y fabricación mediante software CAD/CAM 3D de una fresadora pórtico CNC de tres ejes para el mecanizado de aleaciones ligeras,” 2015.
- [17] EcuRed, “Fresadora.” .
- [18] N. Ospina and P. Simanca, “Diseño y construcción de un torno de control numérico,” *Sci. Tech.*, no. 29, pp. 121–126, 2005.
- [19] Tecnomáquinaria, “Torno CNC bancada plana.” .
- [20] A. L. Cartagena Orozco and K. P. Quiñonez Angulo, “Repotenciación de la máquina de electroerosión de corte por hilo NC Wire Cut Machine J0780 de la empresa SIMYM Cía. Ltda.,” Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingenier{\i}a en Mecatrónica., 2016.
- [21] EcuRed, “Corte por laser.” .
- [22] H. Ramón and F. Javier, “Diseño y construcción de una máquina de control numérico por corte CO2 láser de 40 watts para acrílico de hasta 4 mm,” Quito/UIDE/2014, 2014.
- [23] L. Jinan Hotech CNC Technology Co., “grabadora láser CNC (HTJ-1290).” .
- [24] stone contact, “CNC Water Jet Cutting Machine.” .
- [25] M. E. Illescas, A. Valero Gómez, J. González Gómez, and J. De, “Construcción de una impresora 3D Open Source,” 2012.
- [26] F. Yáñez, “Diseño y Construcción de un sistema automático de corte por plasma mediante control numérico computarizado CNC,” *Pregr. Dep. Elect., Esc. Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador*, 2007.
- [27] K. Máquinas, “Linha KSDF.” .

- [28] I. Arango and F. Pineda, "Desarrollo de Tecnología para la Fabricación de Máquinas CNC para Corte de Tendidos de Tela para Pequeños Talleres de Confección," *TecnoLógicas*, p. 11, 2010.
- [29] J. C. Salazar Sánchez and A. V. Gortaire Hidalgo, "Diseño y simulación de una mini fresadora didáctica controlada por PC," SANGOLQUÍ/ESPE/2010, 2010.
- [30] C. I. Mendoza Poveda, G. A. Aguillón Almario, and others, "Rediseño y optimización del sistema de posicionamiento bidimensional aplicado a la perforación de circuitos impresos," 2013.
- [31] A. P. Hernández, "Control de una fresadora CNC de uso didáctico," vol. 1, p. 149, 2014.
- [32] U. D. E. E. L. Salvador, "diseño y construcción de una fresadora con control numérico por computadora para uso didáctico," 2014.
- [33] L. S. Navarrete, "Diseño de una máquina fresadora-barrenadora CNC," p. 285, 2015.
- [34] A. L. Casillas, *Máquinas: cálculos de taller*. 1977.
- [35] F. con Ordenador, "Aplicando una fuerza sobre una rueda," 1998. .
- [36] J. Gavilanes, J. Luc\`ia, C. Manotoa, and K. Fernando, "Diseño y construcción de una máquina para cortar poliestireno expandido con motores de paso controlados con un PLC," 2015.
- [37] M. D. Perez, "Maquina fresadora de control CNC tipo cartesiano para materiales plasticos y madera-denominada 3020 ," 2016.

ANEXO A.

MANTENIMIENTO OPERARIO.

Comprobar conexiones y conexión eléctrica.

- Comprobar que la máquina está bien conectada a la tensión eléctrica y comprobar visualmente el estado del entorno de la máquina.
- Comprobar que los ejes de la máquina estén conectados.
- Comprobar la tensión de la correa del eje A, cambiar correa en caso de que se aprecien defectos como fisuras y suciedad abundante debido a lubricantes o a desechos de materiales.

Limpieza de toda la máquina.

- Eliminar de manera correcta los lubricantes-refrigerantes que quedaron como desecho luego de un mecanizado.
- Usar pocos detergentes.
- Durante la limpieza poner atención a la eliminación de los residuos para no causar accidentes.
- Limpiar y engrasar barras roscadas que permiten el movimiento de los ejes periódicamente.

MANTENIMIENTO GENERAL.

Las fresadoras pueden durar años de servicio siempre y cuando tengan un mantenimiento adecuado, además de evitar posibles averías. Estas máquinas necesitan un mantenimiento diario, semanal, mensual y anual (mantenimiento basado en un promedio de trabajo de 40 horas diarias). el básico para cualquier maquina cnc de 4 ejes sería el siguiente:

1. Diario.

Cada día debe limpiar su máquina-herramienta. Igualmente, las partículas de suciedad deben ser sopladas con aire o absorbidas por una aspiradora. Debe prestarse atención a las varillas que forman los ejes y a las varillas roscadas que dan el movimiento. Una partícula incrustada en la chumacera de los rieles puede causar problemas tales como colisiones o la avería del riel. El husillo del eje Z debe ser lubricado con un lubricante basado en siliconas, aero-sol, aceite o grasa.

2. Semanal.

De forma semanal la fresadora se debe limpiar a fondo. La caja de control debe aspirarse, los restos de suciedad/viruta que se quedan en las chumaceras y en los rieles deben limpiarse. Todos los rodamientos se deben revisar y rellenar o lubricar con aceite o grasa si es necesario. Además, deberían engrasarse todos los rodamientos y acoples al menos dos veces al mes. Empujar la máquina levemente mientras se aplica presión en sentido contrario hará dos cosas: por una parte, esto ayuda a engrasar los rieles y por otra hará penetrar la grasa por todos los rodamientos.

3. Mensual.

Además de la limpieza diaria y semanal, los ejes y husillos X, Y y Z deben limpiarse con un cepillo y un des-engrasador. Una vez estén limpios, se aplican unas gotas de grasa.

ANEXO B.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES.

Al ser una máquina industrial, debe tener en cuenta ciertos puntos que le permiten proteger su integridad al hacer uso de la máquina CNC de cuatro grados de libertad. Al tener en cuenta estas precauciones se evita de sufrir daños corporales y en el peor de los casos la muerte.

- Se debe mantener una distancia prudente (mayor a 30cm), mientras la máquina CNC esté en funcionamiento: Con el fin de proteger al operario y demás personas que se encuentren alrededor de la máquina es necesario conservar esta distancia ya que, cualquier imprevisto que se presente durante la ejecución de un corte, se debe proteger la integridad del personal.
- Mantener alejado de la máquina CNC cualquier elemento químico o prenda inflamable: Ya que el proceso de corte genera chispa y esto puede ocasionar un incendio, es recomendable alejar cualquier elemento inflamable al área de trabajo de la máquina.
- Debe mantener un extintor de incendios o agua cerca de la máquina CNC: Es necesario contar con estos elementos de seguridad en caso de cualquier indicio de flama no controlada en el transcurso del corte.
- El área de trabajo en el que se ubica el material debe ser ventilado o absorbido: Para evitar acumulación de residuos generados por el proceso de corte, es necesario contar con ventilación o absorción constante, para lo cual es conveniente tener ventanas cerca de la máquina o un sistema de extracción o absorción del material sobrante (aspiradora).
- Usar elementos de protección para manipular las piezas: Por protección del operario, es necesario que tenga los respectivos elementos de seguridad: Guantes industriales (Evita cortes y quemaduras en las manos) y gafas (Evita daños en la vista a causa de los residuos del corte del material).

- Antes de colocar una pieza a maquinar es necesario definir su punto de inicio, para el correcto corte de la figura en el material: Es importante cerciorarse que la porta herramienta se encuentra en una posición alejada del área donde se pretende ubicar el material a trabajar, además debe estar apagada, evitando movimientos no programados u otra operación no prevista por el operario.

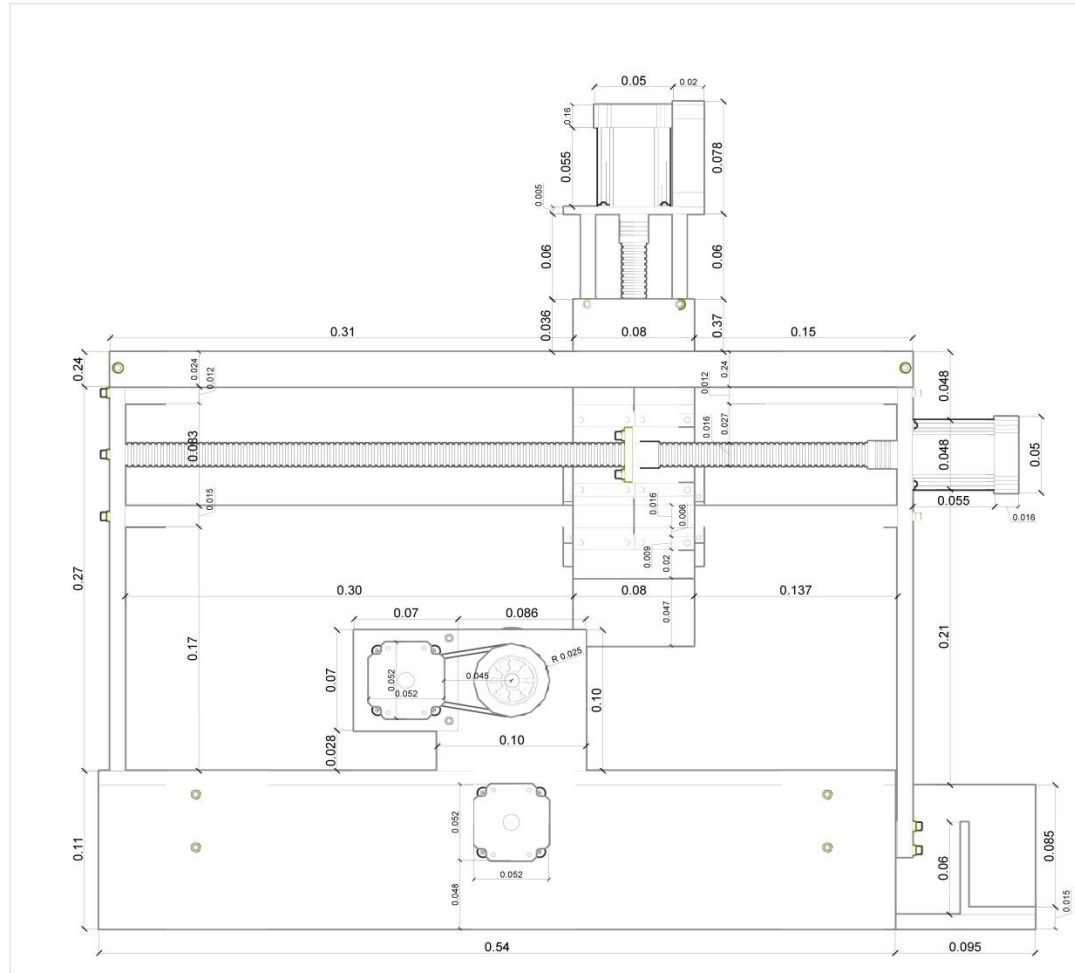
ASPECTOS A TENER EN CUENTA.

- Asegurar el libre desplazamiento de la máquina CNC. En el caso de que haya un objeto extraño debe ser retirado antes de iniciar el sistema.
- Mantener lubricado los sistemas de rodamiento y los ejes roscados, con el fin de prolongar la vida útil de la máquina CNC.
- Los límites virtuales del código G a aplicar deben estar acorde a los límites físicos de la máquina CNC; de lo contrario, debe abstenerse de iniciar el proceso de corte.
- Únicamente se debe trabajar sobre materiales no ferrosos, con espesor no mayor a 10cm y de medidas proporcionales al área de trabajo de la máquina (40cm x 40 cm). Además, debe asegurar que el material este en óptimas condiciones para garantizar un corte limpio.
- Garantizar las revoluciones de la herramienta de corte (*moto tool*) para asegurar el correcto corte de la máquina.

ANEXO C.

PLANOS DE LA MAQUINA CNC DE CUATRO GRADOS DE LIBERTAD.

Se observan los planos finales con cotas de los perfiles de la maquina CNC de cuatro grados de libertad.



PERFIL POSTERIOR

