



Puesta en Funcionamiento de la Máquina Emco Compact 5 CNC de la Universidad Antonio Nariño, Sede Bogotá Sur.

Daniel Esteban Páez Pinzón

11481717920

Universidad Antonio Nariño

Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá DC, Colombia

2023

Puesta en Funcionamiento de la Máquina Emco Compact 5 CNC de la Universidad Antonio Nariño, Sede Bogotá Sur.

Daniel Esteban Páez Pinzón

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de :

Ingeniería mecatrónico

Director:

Ph.D. Hugo Ferney Alba Díaz

Universidad Antonio Nariño

Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá DC, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

-----,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de -----.

-----.

Firma del Tutor

-----.

Firma Jurado

-----.

Firma Jurado

Agradecimientos

Este proyecto es el esfuerzo de mi familia, gracias a ellos que me han ayudado, animado y han creído en mí, en cada paso que tomo, su apoyo incondicional me ha llevado hasta donde estoy. Mi madre Diana Pinzón que ha sido el pilar de mi ser brindándome su amor alentándome a seguir adelante, mi padre Carlos Páez me ha brindado su apoyo incondicional para ser un mejor ingeniero, mi abuelo Marceliano Pinzón que me ha proporcionado su inteligencia para encontrar solución aquellos problemas difíciles, mis hermanos que me han animado, a mi prometida Laura Fernández la razón de mi inspiración, sin ella no sería el la persona que soy, por ultimo y más importante a Dios quien ha proporcionado todas las herramientas para lograr mis metas y sueños, aunque los problemas a simple vista carezcan de solución Dios me ayuda a ver la resolución a cada uno de ellos.

Resumen

En este proyecto se realizó la puesta en marcha del torno CNC Compact 5, de la Universidad Antonio Nariño sede Bogotá sur, el cual se encontraba en estado de abandono y fuera de servicio por lo que no estaba prestando ninguna función a la comunidad educativa. A lo largo de este documento se realizaron y se evaluaron los diferentes objetivos y resultados obtenidos para actualizar tecnológicamente y poner en funcionamiento el torno CNC, dentro de los objetivos se realizó: un diagnóstico de la máquina con el fin de determinar las intervenciones a ejecutar, el diseño mecánico y eléctrico con los respectivos planos mecánicos y diagramas eléctricos, implementando los diferentes elementos en la máquina, y por último se realizó un manual de operación y mantenimiento con una guía práctica, dejando en servicio la máquina, para estudiantes de las diferentes materias y proyectos de grado relacionados con el mecanizado y fabricación de piezas. Dentro de los resultados obtenidos se analizó las características actuales del torno como la precisión y el torque, y se evaluó el costo total de la puesta en funcionamiento de la máquina CNC.

El trabajo a realizado implicó la intervención en los sistemas: mecánico, eléctrico y de control. La ejecución del primero se realizó mediante la adaptación de elementos y soportes necesarios para el CNC, buscando el correcto funcionamiento dimensional, ejemplo de esto son: relación de poleas y materiales. El sistema eléctrico reemplazo los elementos eléctricos que no estaban en funcionamiento como, por ejemplo: drivers de motores eléctricos e incluso el gabinete. Por último, el control, busca el manejo óptimo del CNC por medio de sensores.

Palabras clave – CNC, Motores paso a paso, Drivers, Software, Cogido G

Abstract

In this project, the CNC Compact 5 lathe was commissioned, from the Antonio Nariño University, Bogotá south, which was in a state of abandonment and out of service, so it was not providing any function to the educational community. Throughout this document, the different objectives and results obtained to technologically update and put the CNC lathe into operation were carried out and evaluated, within the objectives: a diagnosis of the machine in order to determine the interventions to be executed, the mechanical and electrical design with the respective mechanical plans and electrical diagrams, implementing the different elements in the machine, and finally an operation and maintenance manual was made with a practical guide, leaving the machine in service, for students of the different subjects and degree projects related to machining and manufacturing of parts. Among the results obtained, the current characteristics of the lathe such as precision and torque were analyzed, and the total cost of commissioning the CNC machine was evaluated.

The work carried out involved intervention in the systems: mechanical, electrical and control. The execution of the first one was carried out by adapting the necessary elements and supports for the CNC, looking for the correct dimensional operation, example of this are: relation of pulleys and materials. The electrical system replaced the electrical elements that were not working, such as: electric motor drivers and even the cabinet. Finally, control, look for the optimum handling of the CNC by means of sensors.

Keywords – CNC, Steppers Motors, Drivers, Software, Code G

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	III
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Justificación	4
2 Marco Teórico	7
2.1 Torno y CNC	7
2.1.1 Partes y arquitectura de un torno CNC	8
2.1.1.1 Bancada	8
2.1.1.2 Cabezal	9
2.1.1.3 Porta Herramienta	10
2.1.1.4 Contra Punto	10
2.1.1.5 Carro Principal	11
2.1.1.6 Carro Trasversal	11
2.1.1.7 Carro Orientable	11
2.1.1.8 Plato de mordaza	11
2.1.1.9 Motores	12
2.1.1.10 Drivers	13
2.1.1.11 Límites de Carrera	13
2.1.1.12 CPU o Controlador	13
2.1.1.13 Enconder	14
2.1.2 Mecanizado	14
2.1.2.1 Velocidad de Corte	14
2.1.2.2 Velocidad de rotación de la pieza	15
2.1.2.3 Velocidad de avance	15
2.1.2.4 Tiempos	17
2.1.2.5 Potencia del corte	17
2.2 Motores paso a paso	18
2.2.1 Torque	19
2.2.2 Pasos por milímetro	19

2.2.3	Velocidad de giro	20
2.3	Controladores CNC	22
2.3.1	Mach3	22
2.4	Mantenimiento	23
2.4.1	Preventivo	24
3	Metodología	27
3.1	Inspección Emco Compact 5 CNC	27
3.1.1	Diagnóstico Eléctrico	27
3.1.2	Diagnóstico Mecánico	28
3.2	Diseño Mecánico	30
3.2.1	Límites de Carrera	30
3.2.2	Anclaje Porta Herramienta	32
3.2.3	Transmisión y Acople de Motores	32
3.2.4	Diseño CAD y Planos Mecánicos	33
3.3	Componentes Eléctricos	35
3.3.1	Caja Eléctrica	35
3.3.2	Interfaz	36
3.3.3	Motores	37
3.3.3.1	Eje X y Z	37
3.3.3.2	Porta Herramienta	37
3.3.4	Planos y Diagramas Eléctricos	38
3.3.5	Controlador	39
3.4	Compra y Fabricación Elementos	39
3.4.1	Compra	39
3.4.1.1	Motores paso a paso	40
3.4.1.2	Drivers	40
3.4.1.3	Fuentes de alimentación	41
3.4.1.4	Mach3	42
3.4.1.5	Minicomputador	42
3.4.1.6	Pantalla	43
3.4.1.7	Conexión	43
3.4.2	Fabricación	44
3.4.2.1	Poleas	44
3.4.2.2	Lámina Fin de Carrera	45
3.4.2.3	Acoples	45
3.5	Ensamblaje Mecánico	45
3.5.1	Instalación Fines de Carrera	45
3.5.2	Motores	46
3.6	Ensamblaje Eléctrico	47
3.6.1	Caja Eléctrica	47
3.6.2	Pantalla	48
3.6.3	Cableado	48
3.7	Calibración de Motores	49
3.7.1	Pasos por milímetro	49
3.7.2	Velocidad	50
4	Análisis y resultados	52

4.1	Costos Emco Compact 5 CNC	52
4.2	Manual de operación y mantenimiento	53
4.3	Guía Practica	54
4.4	Funcionamiento	54
4.4.1	Correas transmisión eje X y Z	55
4.5	Precisión	58
4.5.1	Eje Z	58
4.5.2	Eje X	59
5	Conclusiones y recomendaciones	61
5.1	Conclusiones	61
5.2	Recomendaciones	62
	Referencias	64
A	Anexo: Diagnóstico	66
B	Anexo: Transmisión del husillo	75
C	Anexo: Planos Mecánicos	78
D	Anexo: Diagramas Electrónica	86

Índice de cuadros

1.3.1 Comparación de precios entre la Boshi CK20 y la Emco Compact 5	5
3.1.1 Diagnóstico Eléctrico	28
3.1.2 Diagnóstico Mecánico	29
3.4.1 Características Motor Nema 23	40
3.4.2 Características Motor Nema 17	40
3.4.3 Características Drivers TB6600	41
3.4.4 Características Mini PC	43
4.1.1 Gastos Emco Compact 5 CNC	52

Índice de figuras

1.0.1 Máquina Emco Compact 5 CNC estado anterior	2
1.3.1 Bochi CK20	5
2.1.1 El Torno y sus Partes	8
2.1.2 Bancada	9
2.1.3 Cabezal	9
2.1.4 Porta Herramienta	10
2.1.5 Contra Punto	10
2.1.6 Carro Principal	11
2.1.7 Carro Trasversal	12
2.1.8 Carro Orientable	12
2.1.9 Plato Mordaza	13
2.1.10 rpm vs Diámetro de pieza de la Máquina Emco Compact 5 CNC	16
2.2.1 Datasheet Motor Nema 23, motor paso a paso bipolar	18
2.3.1 . Conexion de tarjeta controlador (Mach3) y sistema de control (Siemens)	22
2.3.2 . Interfaz Mach3	23
2.4.1 . Cronograma de mantenimiento actual para la fresadora CNC	24
2.4.2 . Fallas comunes en subsistema de control	25
2.4.3 . Frecuencias de mantenimiento subsistema de control	26
3.2.1 Fin de Carrera	30
3.2.2 Finales de Carrera	31
3.2.3 Lámina Fin de Carrera	31
3.2.4 Motores Paso a paso y acoples	32
3.2.5 Acoples motores ejes Z y X	32
3.2.6 Emco Compact 5 CNC Marinus Jeuring	33
3.2.7 Emco Compact 5 CNC Completo	34
3.2.8 Emco Compact 5 CNC Actualización	34
3.2.9 Fines de Carrera plano	35
3.3.1 Lámina Caja Electrica	36
3.3.2 Lámina Pantalla plano	36
3.3.3 Diagrama Eléctrico Emco Compact 5 CNC Husillo	38
3.3.4 Diagrama Eléctrico Emco Compact 5 CNC Mach3	39
3.4.1 Tabla cable AWG	44
3.4.2 Tabla cable UL2464	44
3.5.1 Limite de Carrera	46
3.5.2 Montaje de Motores paso a paso	46
3.6.1 Placa Electrónica Nueva	47
3.6.2 Placa Electrónica	47

3.6.3 Apertura para computador	48
3.6.4 Ensamblaje de Pantalla	48
3.6.5 Cableado Final	49
3.7.1 Gráfica Motor Nema 23	51
4.4.1 Puesta en Funcionamiento de la Máquina Emco Compact 5	55
4.4.2 Segunda prueba unión correa	56
4.4.3 Tercera prueba unión correa	57
4.4.4 Cuarta prueba unión correa	57
4.5.1 Precisión en eje Z	58
4.5.2 Mach3 Precisión Eje Z	59
4.5.3 Precisión en eje X	59
A.0.1 Tablero Emco Compact	67
A.0.2. Interruptor	67
A.0.3. Conexion Llave	68
A.0.4. Llave Para Arrancar	68
A.0.5. Motor de Husillo	68
A.0.6. Display	69
A.0.7. Motores paso a paso	69
A.0.8. Rotor Motor Emco Compact 5	70
A.0.9. Tablero Desensamblado	71
A.0.10 Bancada Emco	71
A.0.11 Transmisión Motor X	71
A.0.12 Correa	72
A.0.13 Transmisión eje Z	72
A.0.14 Torreta Emco	72
A.0.15 Mecanismo de torrera con seguro	73
A.0.16 Transmisión Emco Compact 5 Husillo	73
A.0.17 Transmisión Motor	73
A.0.18 Electrónica Emco	74
B.0.1 Tabla de Velocidades del Husillo	76
B.0.2 Sistema de Poleas	76
B.0.3 Transmisión de poleas de Husillo	77
C.0.1 Porta Herramienta plano	79
C.0.2 Acople Eje X	80
C.0.3 Acople Eje Z	81
C.0.4 Motor paso a paso Nema 17	82
C.0.5 Motor paso a paso Nema 23	83
C.0.6 Contra Punto plano	84
C.0.7 Bancada plano	85
D.0.1 Diagrama Electrico Emco Compact 5 CNC Actualizado	87
D.0.2 Diagrama Eléctrico Emco Compact 5 CNC	88

Índice de ecuaciones

2.1.1 Velocidad de Corte	14
2.1.2 Velocidad de rotación de la Pieza	15
2.1.3 Velocidad de Avance	16
2.1.4 Tiempo de Maquinado	17
2.1.5 Potencia de Corte	17
2.2.1 Torque Motor	19
2.2.2 Revoluciones por Milímetro	20
2.2.3 Pasos por milímetro motores paso a paso	20
2.2.4 Revoluciones por segundos	20
2.2.5 Milímetro por minuto Emco Compact 5 CNC	21
2.2.6 Milímetro por minuto Reales	21
3.3.1 Cálculo del torque del motor	37
3.4.2 Cálculo de potencia necesaria 24 V	41
3.4.3 Potencia Fuente 24 V	41
3.4.4 Cálculo de potencia necesaria 12 V	42
3.4.5 Potencia Fuente 12 V	42
3.7.1 Desplazamiento por revolución motores paso a paso poleas Emco Compact 5 CNC	50
3.7.2 Pasos por milímetro motores paso a paso Emco Compact 5 CNC	50
3.7.3 Revoluciones por segundo Emco Compact 5 CNC	50
3.7.4 Milimetro por minuto Emco Compact 5 CNC	50
3.7.5 Milimetro por minuto Reales Emco Compact 5 CNC	51

Capítulo 1

Introducción

Las máquinas CNC han tenido gran importancia en la industria a partir de su creación en la segunda revolución industrial dando paso a la automatización en masa, permitiendo la fabricación de piezas con mayor complejidad, hasta llegar a la actualidad en donde se tienen una gran variedad de campos donde esta tecnología se ha implementado.

En la actualidad las CNC se encuentran en la mayoría de procesos de manufactura en la industria, principalmente en los procesos de arranque de viruta, un estudio realizado en Bogotá por Natalia Giraldo. presenta la distribución de maquinaria en esta ciudad donde se focalizan estas CNC en 3 principales procesos de manufactura: el torno, fresadora y centro de mecanizado vertical. [7].

El torno Emco Compact 5 CNC, se fabricó desde el año 1981 al año 1992, para esas épocas el avance tecnológico en esta área ya tenía presencia en la industria. Este torno cuenta con lectura de programa en código G mediante Caset, moderna para su época [1]. El propósito de esta máquina era la producción de pequeños lotes de piezas de tamaño reducido, teniendo la característica de ser una máquina compacta y fácil de transportar. La comercialización de este torno se enfocó principalmente en universidades e institutos educativos.

La Emco Compact 5 CNC tiene una bancada de 350 mm en el eje X, y 65 mm en el eje Z. La velocidad de giro del husillo es variable de 50 a 3200 rpm. Cuenta con un cambiador de herramientas de 6 posiciones 3 de ellas son radiales y las otras 3 axiales (Figura 1.0.1).



Figura 1.0.1: Máquina Emco Compact 5 CNC estado anterior
Fuente: Autor

1.1. Antecedentes

Para la puesta en funcionamiento de la Emco Compac 5 CNC es necesario revisar los elementos de una CNC moderna. En el trabajo realizado por Frolov, el 2021 [2], En la universidad estatal de Rusia, se ve la modernización de un sistema para soldaduras en tubería en donde se ensambla una estación de soldado con motores paso a paso y un husillo para el control de posición del tubo de soldadura, que varía con una señal PWM controlando la estación de soldadura de forma remota una vez realizado el montaje, las instrucciones dadas a la tarjeta de control con los parámetros de soldado están hechas en código G, sistema que es similar a un torno CNC como el Emco Compact 5.

En la conferencia internacional sobre ciencia de control e ingeniería en 2016, en Beijing China, se presentó un artículo realizado por Hassaam, 2017 [3], en donde muestra por medio de una simulación en Matlab la implementación de un CNC que funciona a partir de energía solar. En el modelo a partir de una imagen se desarrollaron diagramas de flujo para el procesamiento óptimo de la pieza a fabricar, una vez procesada esta imagen es ingresada al controlador y al programa teniendo en cuenta los ejes y su movimiento.

En el congreso Internacional de tendencias Recientes en Electricidad, Control y Comunicaciones (RTEECC) del 2018, presenta un artículo de Jean Shilpa, 2018 [4] en donde

se describe la implementación de una fresadora CNC fabricada en PVC. Este artículo ahonda en la problemática recurrente en muchos campos de la metalmecánica como es el costo de maquinaria, así se pretende disminuir este costo con la fabricación de la estructura de la máquina en PVC y con la utilización de elementos económicos como son un ARDUINO UNO para control, usando motores paso a paso NEMA 17, motor de husillo de velocidad variable entre 5000 rpm, a 8000 rpm. Esta máquina con repuestos y materiales económicos puede aumentar su rendimiento a medida que avanza la producción implementando mejoras en el control al remplazar el Arduino por el software Mach 3 CNC, o mejores procesadores que se encuentren en la industria. Así mismo se pueden cambiar los motores paso a paso por servo motores que aumentan la exactitud de maquinado.

De igual manera en el congreso internacional Fukuoka del 2009, Japón, se presenta un informe, por Kittipong, en 2009 [5] que plantea el desarrollo de una fresadora con software de control abierto con el fin de reducir costos. El documento hace énfasis en las dificultades económicas para pequeñas y grandes empresas, así como institutos educativos, los cuales tienen problemas económicos al momento de comprar CNC, estas máquinas con el tiempo suelen ser inservibles, dado que usan programas de control cerrado. En este artículo se realiza un prototipo de control de movimiento basado en arquitectura y tecnologías modulares el cual permite controlar maquinaria obsoleta de control cerrado, esto para ayudar a futuras mejoras, entre otras modificaciones requeridas para alargar la vida útil de la maquinaria.

En este último artículo desarrollado por el departamento de ingeniería MIET en india, por Nancy Rastogi, 2021 [6], Se ve el diseño e implementación de un torno CNC de bajo costo para mecanizar madera, pero sin dejar a un lado la eficiencia. Esta máquina tiene 2 ejes, y posee un sistema de control abierto el cual permite modificaciones y mejoras futuras.

A partir de estos artículos se puede evidenciar varios puntos a tener en cuenta al implementar las mejoras en la Emco Compact 5 CNC, como el uso de software abierto lo que facilita las mejoras y mantenimientos futuros, otro de los factores a tener en cuenta son los costos de la maquinaria y con frecuencia el transporte es una parte significativa en el precio final de la máquina [7].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Poner en Funcionamiento la Máquina Emco Compact 5 CNC de la Universidad Antonio Nariño, Sede Bogotá Sur.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual de la máquina para definir las intervenciones necesarias a realizar.
- Hacer el diseño Mecánico y Eléctrico que permitan poner en funcionamiento la CNC Emco Compact 5.
- Implementar los componentes Mecánicos y Eléctricos en la Emco Compact 5 y verificar su funcionamiento.
- Realizar la documentación de planos y manuales para el mantenimiento y operación de la máquina.

1.3. Justificación

Los costos para la inversión de maquinaria moderna son elevados, principalmente por la importación de esta, e impuestos generados. Por ende, es fundamental tener en cuenta otras opciones al invertir en maquinaria, como la restauración y modernización de esta. Los gastos para poner en funcionamiento la Emco Compat 5 CNC son muy inferiores si se comparan con la compra de una nueva CNC. Así mismo implementar un software abierto hace posible introducir mejoras a futuro aumentando las características y prestaciones.

En la actualidad se encuentran varias máquinas similares a la Emco Compact 5 CNC, como por ejemplo la CK20 de la marca Boshi la cual cuenta con bancada 200 cm en el eje X, y 180 cm en el eje Z, cabe aclarar las notables diferencias en la tecnología que tiene la marca Boshi con las que se plantean en este proyecto, aun así, se realiza la comparación de precios entre estas dos máquinas.



Figura 1.3.1: Boshi CK20

Fuente: Baoji Machine Tool Group, 2023

Comparación de precios	Boshi CK20	Emco Compact 5
Maquinaria	\$31'500.000	\$3'500.000
Restauración	\$0	\$4'000.000
Transporte	\$10'000.000	\$0
Total	\$41'500.000	\$7'500.000

Cuadro 1.3.1: Comparación de precios entre la Boshi CK20 y la Emco Compact 5

La diferencia entre adquirir un torno CNC compacto y restaurar la Emco Compact 5 CNC es de \$ 34'000.000 por lo cual es mejor económicamente ponerla en funcionamiento (Tabla 1.3.1).

Con una CNC didáctica como la Emco compact 5 CNC se pueden fabricar piezas pequeñas e ingresar al mundo de maquinado de una forma más amigable. Así mismo se pueden elaborar piezas para suministrar elementos requeridos por la Universidad como lo son probetas, o elementos necesarios en laboratorios y proyectos de grado.

Colombia se representa por ser una gran comercializadora de centros de mecanizados, representando al país frente a grandes potencias en este ámbito, como lo son: Alemania, Brasil, china y Taiwán[7]. Dentro del valor comercial de las CNC se ven reflejados costos adicionales por el transporte e impuestos generados dentro del país, lo cual resulta en un sobre costo importante al momento de adquirir este tipo de maquinaria. Con base en esta problemática se requiere la modernización y fabricación de maquinaria CNC de bajo costo para principalmente micro y pequeñas empresas las cuales tienen una capacidad baja de inversión en este tipo de tecnología. La demanda de procesos especiales de manufactura en Colombia es alta, donde se genera gran competencia frente a otros países por suplir

estos tipos de procesos, estas circunstancias han dado paso al requerimiento de máquinas especializada, el aumento de CNC tendría gran impacto dentro del país el cual permitirá una competencia favorable frente a la exportación extranjera de este tipo de maquinaria, impulsando así la industria nacional.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Torno y CNC

Los tornos se distinguen en la industria metalmecánica por ser maquinaria con el propósito de mecanizar diferentes tipos de materiales mediante el arranque de viruta. Estos están compuestos por: un motor que posee variaciones de velocidad, el cual se conecta mediante una transmisión a un husillo acoplado a la pieza por una copa (Figura 2.1.1), la máquina realiza el desbaste girando la pieza a una revolución establecida mientras que el porta herramienta realiza diferentes tipos de cortes, trasladándose con un movimiento regulado en dos direcciones con respecto a la dirección de giro. En un principio el movimiento producido para mecanizar la pieza se realizaba de forma manual por un operario, con la llegada de la cuarta revolución industrial se lograron avances como el torno CNC, o torno de control numérico, cambiando los movimientos mecánicos de la máquina por un software de computación el cual realizaba la pieza requerida, para esto la máquina se divide en sistemas de coordenadas del plano cartesiano, donde el movimiento trasversal esta dado por el eje X, y el eje longitudinal por el Z, cabe aclarar que algunos tornos pueden llegar a tener más ejes [9].

Los tornos mecánicos datan de comienzos de la primera revolución industrial en Inglaterra, al rededor del siglo XVII. las primeras modificaciones de esta máquina mediante computadora se llevaron a cabo a principios de los años 60, dando paso a el torno CN (Control Numérico por Computador), ejecutando programas que ordenan los diferentes movimientos de la máquina, estos eran fáciles de modificar y ejecutar, aunque en aquella época las computadoras eran

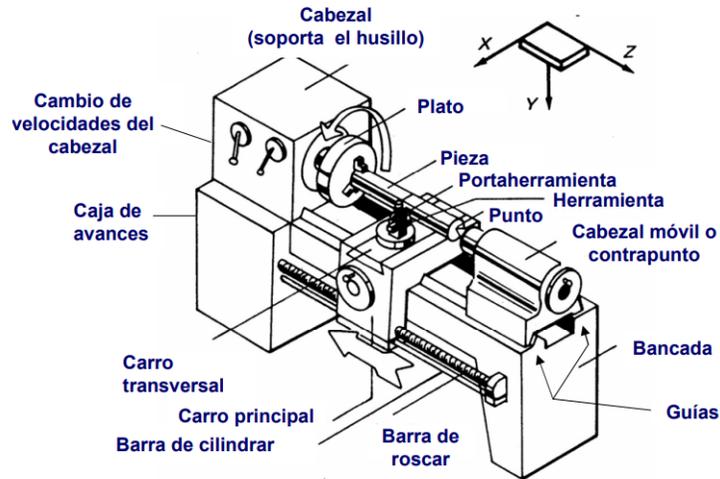


Figura 2.1.1: El Torno y sus Partes

Fuente: Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea, 2022, Tecnologías de fabricación

robustas y muy costosas, la opción más factible era elaborar software especializado en el diseño y manejo de estas máquinas basado en desplazamientos automáticos para los ejes y herramientas, denominado torno CNC (Control Numérico Computarizado) a finales de los años 60 [13].

Con el aumento de la demanda en la industrias se han realizado más actualizaciones en estas máquinas como lo son la generación de movimiento enteramente automatizado para fabricación de piezas sin el requerimiento de operadores, o la implementación de brazos robóticos.

2.1.1. Partes y arquitectura de un torno CNC

Todos los tipos del tornos cuentan con una serie de elementos en común para mecanizar las piezas (Figura 2.1.1).

2.1.1.1. Bancada

Es un soporte mayormente fabricado en fundición gris que carga otros elementos como el carro y la contrapunta. Se compone de dos guías, una lisa y otras en forma de prisma para soportar las cargas, se desliza de forma suave y sin permitir el juego de los elementos (Figura 2.1.2).

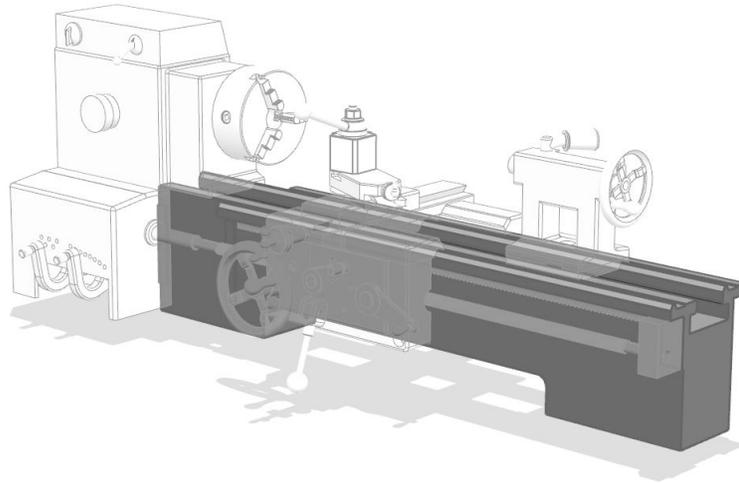


Figura 2.1.2: Bancada

Fuente: Robert Hewitt, 2021, Bedways, ToolNotes.com

2.1.1.2. Cabezal

Este contiene el eje principal en el cual se alojado la pieza para transmitir el movimiento, en el interior de este cabezal se alberga el mecanismo para lograr distintas velocidades como lo pueden ser: caja de engranajes, poleas, transmisión directa por motor o variador de velocidades (Figura 2.1.3).

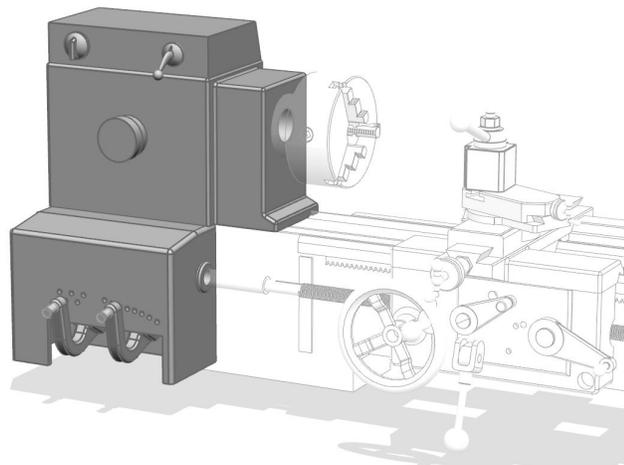


Figura 2.1.3: Cabezal

Fuente: Robert Hewitt, 2021, Headstock, ToolNotes.com

2.1.1.3. Porta Herramienta

Este sostiene las herramientas para realizar las diferentes operaciones al momento de mecanizar, la fijación de este depende del sistema que se utilice, la más común es el porta herramienta cuadrado el cual se ajusta mediante un tornillo tipo Allen (Figura 2.1.4).

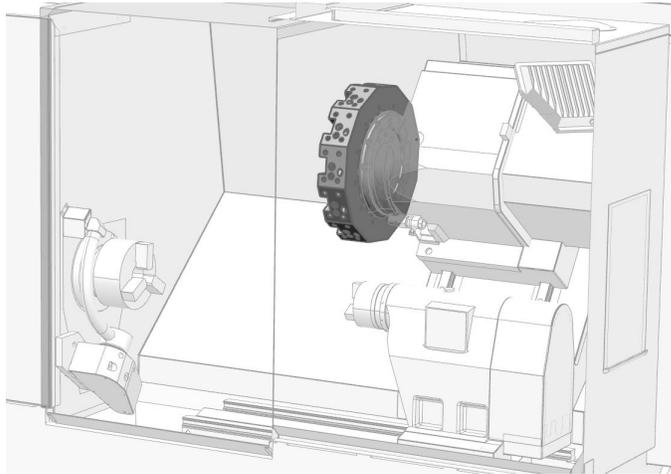


Figura 2.1.4: Porta Herramienta

Fuente: Robert Hewitt, 2021, ToolNotes.com

2.1.1.4. Contra Punto

Este se desliza sobre la bancada y su función es servir de apoyo para colocar ejes largos que son torneados entre puntos, también para hacer taladros en los ejes, el contra punto se desplaza y se ajusta a lo largo de la bancada (Figura 2.1.5).

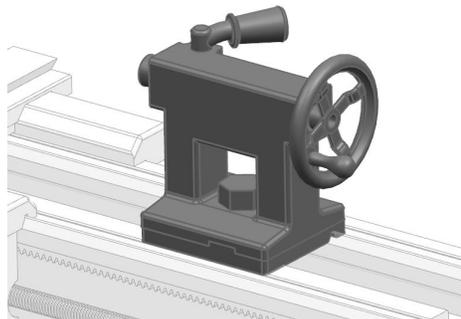


Figura 2.1.5: Contra Punto

Fuente: Robert Hewitt, 2021, Tailstock, ToolNotes.com

2.1.1.5. Carro Principal

En este se trasladan los diferentes carros con los que cuenta el torno así como el porta herramienta, mediante un sistema de tornillo sin fin en dos direcciones. Este ensamblado por dos partes, un delantal, atornillada a la otra parte la cual soporta el carro trasversal y orientable (Figura 2.1.6).

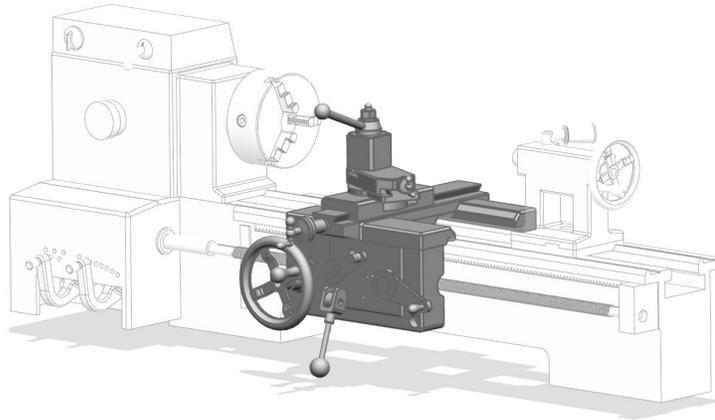


Figura 2.1.6: Carro Principal

Fuente: Robert Hewitt, 2021, Carriage, ToolNotes.com

2.1.1.6. Carro Trasversal

Del carro principal en la parte superior va alojado de manera perpendicular el carro trasversal, tiene movimiento en el otro eje perpendicularmente al carro principal, encima de este va alojado el porta herramientas (Figura 2.1.7).

2.1.1.7. Carro Orientable

Este es una plataforma giratoria en la cual se encuentra el porta herramientas, y gira alrededor del eje central que se fija mediante tornillos en cualquier posición al carro trasversal (Figura 2.1.8).

2.1.1.8. Plato de mordaza

El plato de mordaza es un mecanismo de husillo el cual permite sujetar la pieza realizando una presión continua, pueden contar con 3 o más mordazas dependiendo el tipo de plato y requerimiento de sujeción (Figura 2.1.9).

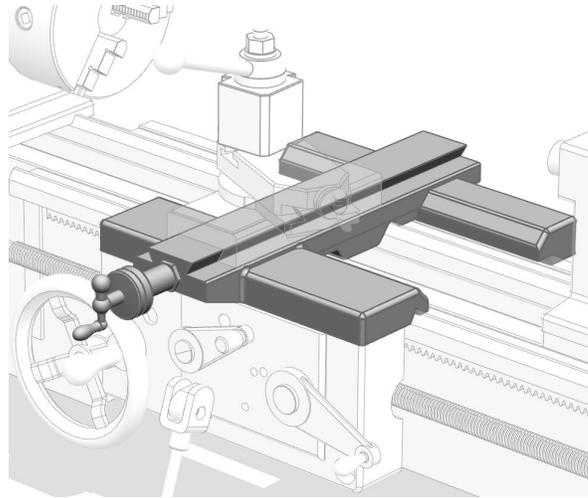


Figura 2.1.7: Carro Transversal

Fuente: Robert Hewitt, 2021, Bedways, ToolNotes.com

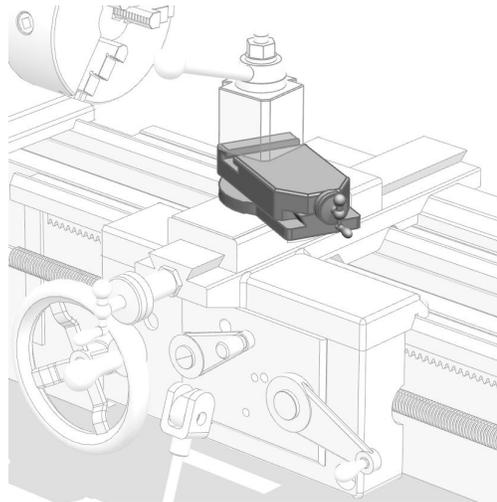


Figura 2.1.8: Carro Orientable

Fuente: Robert Hewitt, 2021, Saddle, ToolNotes.com

2.1.1.9. Motores

Las máquinas CNC actuales tienen motores de corriente continua, lo que permite usar variadores de frecuencia que proporcionan una gran variedad de velocidades sin la necesidad de usar una caja de engranajes, transmitiendo el movimiento mediante poleas. Estas velocidades se programan directamente en el software y en el código para las diferentes tareas a realizar.

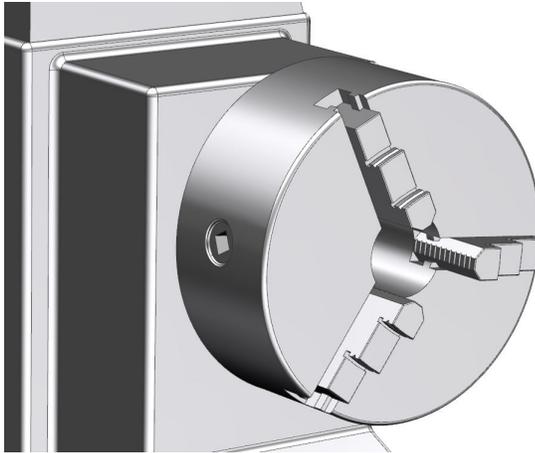


Figura 2.1.9: Plato Mordaza

Fuente: Robert Hewitt, 2021, Chuck, ToolNotes.com

2.1.1.10. Drivers

Son circuitos electrónicos que transmiten señales del controlador a los motores. Existen una gran variedad de drivers como lo son: los controladores de motores paso a paso, servomotores, motores de potencia, entre otros.

2.1.1.11. Límites de Carrera

Los límites de carrera son sensores que actúan como topes para evitar colisiones en la máquina y previenen daños, se encuentran en los extremos de los carros, y están conectados directamente al controlador o relés que detienen los motores.

2.1.1.12. CPU o Controlador

La CPU o UPC, unidad central de proceso es la encargada de realizar los cálculos, mediante un microprocesador integrado, este se elige bajo los requerimientos de la máquina, de los más comunes son: SIEMENS, FANUC, FAGOR.

La CPU incorpora memorias del sistema como son ROM, RAM, EPROM, que sirven para actuar como ordenador con su respectivo disco duro y almacenar los programas. El periférico de entrada es lo más importante, mediante este se controlan los comandos y programas de la CNC, así mismo se detalla el proceso del mecanizado y su progreso.

2.1.1.13. Enconder

Estos se utilizan para mejorar la precisión de la máquina, verificando la posición de la herramienta, así como revisar la velocidad del husillo. Dentro de esta gama se encuentran los enconder lineales y los enconder angulares o rotativos.

2.1.2. Mecanizado

Antes de empezar a mecanizar es importante tener en cuenta algunos parámetros para definir variables, las cuales ayudan a optimizar el corte de la pieza como lo son:

2.1.2.1. Velocidad de Corte

La velocidad de corte es la velocidad lineal, se expresa en metros por minuto esta es dependiente de la calidad y el tipo de herramienta para mecanizar, así como también de la profundidad de la pasada, maquinada y dureza del material. También se tiene en cuenta la limitación de la máquina como son las velocidades, potencia y rigidez que proporcionan los diferentes motores y bancadas.

Con base en estos datos la siguiente ecuación determina la velocidad de corte o V_c [9] (Ecuación 2.1.1).

$$V_c = \frac{n * \pi * D_c}{1000} \quad (2.1.1)$$

Donde:

n = Velocidad de rotación de la herramienta (milímetros).

D_c = Diámetro de la pieza (milímetros).

V_c = Velocidad de Corte (metro por minuto).

La velocidad de corte define la duración de la herramienta, una velocidad alta de corte disminuye el tiempo de mecanizado, aunque aumenta el desgaste de la herramienta así como el filo y la deformación plástica, a la larga disminuye la calidad de mecanizado. Por otro lado, una velocidad de corte baja puede llegar a bajos niveles de productividad, costos elevados y desgaste en la herramienta fundiendo la viruta en el inserto. Los fabricantes de herramientas

proporcionan datos para controlar la velocidad de corte, en los cuales se ajustan estas variables para el rendimiento final deseado aplicando un factor de corrección.

2.1.2.2. Velocidad de rotación de la pieza

Esta velocidad es la rotación del cabezal expresada en revoluciones por minuto (rpm), los tornos tienen un gran rango de velocidades, en los tornos convencionales esta velocidad es determinada por la caja de cambios de la máquina, mientras que los tornos de control numérico utilizan variadores de frecuencia lo que les proporciona elegir dentro de un rango de velocidades.

La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de corte e inversamente al diámetro de la pieza como se muestra en la siguiente ecuación [9] (Ecuación 2.1.2).

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_c} \quad (2.1.2)$$

Donde:

n= Velocidad de rotación de la herramienta (milímetros).

D_c= Diámetro de la pieza (milímetros).

V_c= Velocidad de Corte (metro por minuto).

Otra forma para determinar la velocidad de rotación es mediante gráficas, usualmente se utilizan para disminuir tiempos en los cálculos. Para comprender mejor este método se realiza un ejemplo con la gráfica de rpm vs diámetro de mecanizado de la Emco Compact 5 CNC: Se requiere mecanizar un eje de 40 mm el cual va ensamblado en un reductor, para esto se utiliza el torno Emco Compact 5 CNC que tiene ajustada una transmisión AC2, la cual produce una velocidad de 1200 rpm, a partir de la figura 2.1.10, se logra visualizar que la velocidad de corte más adecuada es de 150 metro por minuto o 492 pie por minuto.

2.1.2.3. Velocidad de avance

Esta es la velocidad relativa de la pieza y la herramienta, en otras palabras, es la velocidad con la cual avanza el corte.

El avance por revoluciones F, es la velocidad de progreso por cada revolución de la pieza, el cual depende del diámetro de la pieza, profundidad de pasada, y la calidad de la herramienta.

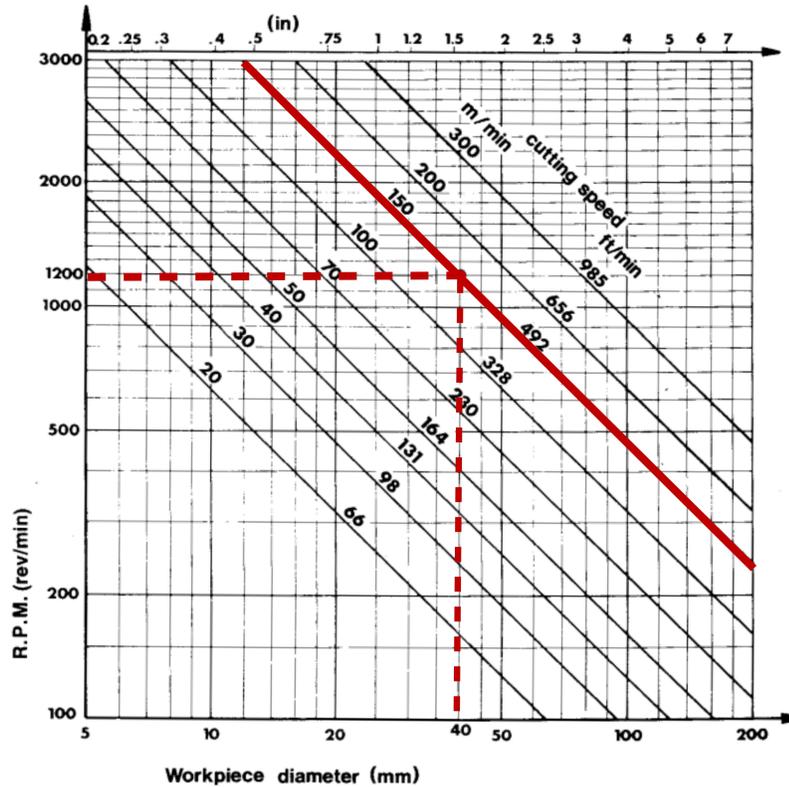


Figura 2.1.10: . rpm vs Diámetro de pieza de la Máquina Emco Compact 5 CNC

Fuente: Emco, 1990, Operation Instruction Emco Compact 5

Esta es el producto del avance por revoluciones y las revoluciones dadas por la velocidad de rotación [13] (Ecuación 2.1.3).

$$Fm = N * Fr \quad (2.1.3)$$

Donde:

Fm= Velocidad de avance en milímetro por minuto (milímetro por minuto).

N= Revoluciones por minuto (rpm).

Fr= Velocidad de avance en milímetro por revolución (milímetro por revolución).

Al igual que la velocidad de corte, esta velocidad de avance tiene consecuencias al usarla con revoluciones bajas y elevadas. Con la velocidad de avance se puede determinar la formación de viruta, el consumo de potencia y la tensión mecánica y térmica. Si se utiliza una velocidad de avance elevada disminuyen los tiempos de corte, el desgaste de la herramienta disminuye,

hay un buen manejo de la viruta, aunque hay un mayor riesgo de rotura de la herramienta y la rugosidad del mecanizado aumenta. Mientras que si se utiliza un avance bajo mejoran los acabados del mecanizado, mayor tiempo de corte y la viruta es más larga. Como efectos contra producentes, hay un mayor costo de mecanizado y el desgaste de la herramienta es mayor.

2.1.2.4. Tiempos

El tiempo en el cual la herramienta efectúa una pasada en la pieza esta dado por [13] (Ecuación 2.1.4).

$$T = \frac{Lp}{F} \quad (2.1.4)$$

Donde:

T= Tiempo de una pasada en minutos (minuto).

Lp= Longitud de Pasada (milímetro).

F= Velocidad de avance en mm por minuto (milímetro por minuto).

2.1.2.5. Potencia del corte

La Potencia de corte o Pc, se expresa en kilovatios (kW), para determinar esta variable se realiza a partir del arranque de viruta, calidad de corte y el rendimiento de la máquina (Ecuación 2.1.5).

$$P_C = \frac{A_c * p * f * F_C}{60 * 10^6 * \rho} \quad (2.1.5)$$

Donde:

Fc= Fuerza específica.

ρ = Eficiencia de la máquina.

Ac= Área de corte.

Pc= Potencia de corte.

p= Profundidad de la pasada.

F_c es la fuerza específica y es una constante del material que se utiliza al mecanizar, su geometría y el espesor de viruta.

2.2. Motores paso a paso

Los motores paso a paso son convertidores electromecánicos, formados de un estator con devanados o fases y un rotor con un número determinado de polos. Su movimiento es generado por pulsos digitales transmitidos al bobinado del motor, por cada pulso emitido el motor genera un movimiento rotatorio con una revolución definida.

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente: unipolares y bipolares, los primeros se caracterizan por tener 5, 6 y 8 cables en donde se tiene que conectar un común al bobinado siendo más simples de controlar, mientras que los bipolares tienen 4 cables de salida normalmente a 2 bobinas, para controlar la dirección es necesario cambiar el flujo de corriente dentro del bobinado [11].

La figura 2.2.1 muestra un motor paso a paso bipolar de dos bobinados, en esta se detalla la forma de conectar los cables, las características del motor y las dimensiones.

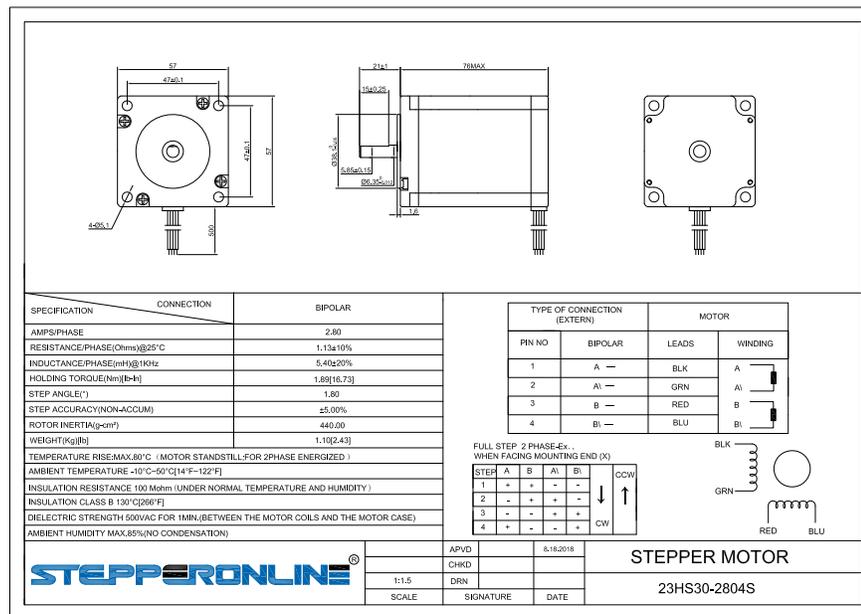


Figura 2.2.1: Datashheet Motor Nema 23, motor paso a paso bipolar

Fuente: Stepperonline, 2022, Stepper motor 23HS30-2804S

2.2.1. Torque

Dentro de las características de un motor paso a paso se encuentra el torque que determina la fuerza que realiza el motor a velocidad fija, existen una gran variedad de motores con diferente torque en el mercado, es fundamental determinar la capacidad necesaria en un motor.

Para calcular el torque de un motor paso a paso en una máquina CNC es necesario conocer la inercia en el sistema o la potencia máxima del husillo y el rango de velocidades en rpm, a partir de estos se determina el torque necesario con la siguiente ecuación[13]:

$$T = \frac{HP * 5252}{rpm} \quad (2.2.1)$$

Donde:

T= Torque (Nm).

Hp= Potencia del motor del husillo.

rpm= Rango de velocidades del husillo.

Al calcular el torque es importante aplicar un factor de seguridad sobre el valor determinado, esto dado la dureza de algunos materiales y posibles cambios del motor del husillo.

2.2.2. Pasos por milímetro

Para calibrar los motores paso a paso en un software de control CNC se requiere calcular los pasos por milímetro, estos indican los pulsos que el controlador tiene que enviar al motor para mover el carro longitudinal o trasversal un milímetro.

Para determinar los pasos por milímetro es pertinente conocer: el ángulo de giro del motor por cada pulso emitido, la transmisión del motor al eje sin fin y el pulso por revolución del driver.

Los motores más comunes tienen un movimiento estándar de 200 pasos por revolución, por tanto, un pulso emitido mueve el motor 1.8°. Para determinar la distancia recorrida por cada revolución del motor se determina a partir de la siguiente ecuación: [15]

$$Rr = \frac{360 * Rp}{Ag} \quad (2.2.2)$$

Donde:

Rr= Recorrido del carro por cada revolución.

Rp= Recorrido del carro por cada pulso.

Ag= Angulo de giro del motor por cada pulso.

Determinada la distancia recorrida por cada revolución del motor paso a paso, se calculan los pasos por milímetro teniendo en cuenta los pasos por revolución configuradas en el driver: [15]

$$\frac{PPR}{Rr} = PPM \quad (2.2.3)$$

Donde:

PPR= Pasos por revolución del Driver.

Rr= Recorrido del carro por cada revolución.

PPM= Pasos por milímetro del motor paso a paso.

Estos pasos por milímetro indican la distancia recorrida del carro por cada pulso emitido del driver, el controlador maneja esta variable para ejecutar el programa.

2.2.3. Velocidad de giro

La velocidad de giro del motor es inversamente proporcional al torque, a mayor velocidad menor es el torque, por tanto, es fundamental calcular la velocidad límite del motor paso a paso. Para esto se calcula la tasa transferencia del controlador [15].

$$\frac{Vc}{PPR} = Tf * 60 = RT \quad (2.2.4)$$

Donde:

V_c = Tasa de transferencia de la tarjeta (Hertz).

PPR= Pasos por revolución del Driver.

T_f = Velocidad de transferencia del controlador al driver (revoluciones por segundo).

RT = Revoluciones teóricas del controlador (rpm).

La velocidad teórica del motor paso a paso es el producto de las revoluciones teóricas del controlador con respecto al recorrido del carro por revolución [15].

$$RT * Rr = Vt \quad (2.2.5)$$

Donde:

R_r = Recorrido del carro por cada revolución (milímetro).

RT = Revoluciones teóricas del controlador (rpm).

V_t = Velocidad teórica (milímetro por minuto).

Determinada la expresión de la velocidad teórica es pertinente realizar un factor de corrección debido a la pérdida de torque.

$$Vt * \frac{1}{5} = Vr \quad (2.2.6)$$

Donde:

V_t = Velocidad teórica (milímetro por minuto).

V_r = Velocidad real (milímetro por minuto).

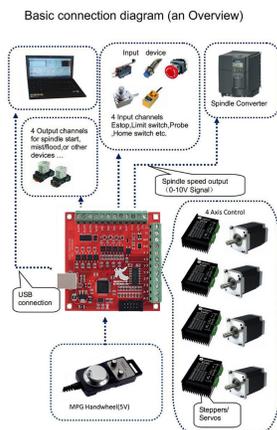
Para evitar pérdidas de torque en un motor paso a paso se recomienda no exceder los 1000 rpm.

2.3. Controladores CNC

Los controladores para CNC como su nombre lo indican controlan el movimiento de la máquina, estos se pueden configurar y calibrar para los diferentes componentes de la CNC como lo son: motores (husillo y ejes), límites de carrera, inputs y outputs. Son los responsables de cargar y ejecutar el programa en código G para mecanizar una determinada pieza.

En el mercado se encuentran 2 tipos de controles numéricos para CNC: Tarjeta controladora y sistema de control. El primero es una tarjeta que cuenta con un software de control numérico y es dependiente de un computador en el cual se descarga el programa para su funcionamiento, los datos como el código G son ingresados en el computador. Mientras que los sistemas de control tienen una interfaz propia que los hace independientes de un computador, cuentan con una pantalla y puertos de entrada para ingresar la información, en la figura 2.3.1 se detalla la Conexión de los dos tipos de controladores.

Tarjeta Controladora



Sistema de control Siemens

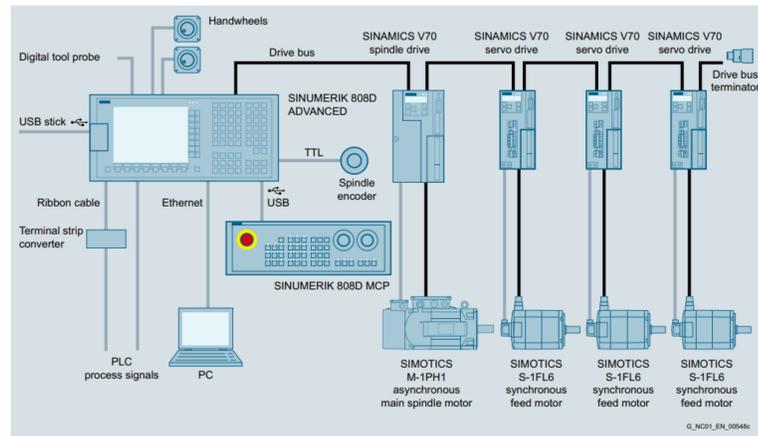


Figura 2.3.1: . Conexion de tarjeta controlador (Mach3) y sistema de control (Siemens)

Fuente: Siemens, 2020, Sinumerik 808. Artsoft y Newfangled Solutions, 2020, Mach3 USB Motion Card

2.3.1. Mach3

El software mach3 es un programa que permite controlar una máquina CNC, surge en 2001 a partir del proyecto EMC o controlador de máquina mejorado de la empresa Artsoft y Newfangled Solutions, se convertiría con el tiempo en uno de los primeros y mas populares

programas de controlador para CNC, esto porque era asequible y práctico debido a sus mínimos requisitos [18].

Mach 3 es un software amplio en funciones que permite controlar la velocidad del husillo, tener múltiples relés, generación de impulsos manuales que permiten mover los carros y reproducción de vídeo [16]. Este programa cuenta con una versión gratuita, y gran variedad de paquetes con controladores según el requerimiento de la máquina (Figura 2.3.2).



Figura 2.3.2: . Interfaz Mach3

Fuente: Artsoft y Newfangled Solutions, 2020, Mach3 USB Motion Card

2.4. Mantenimiento

El mantenimiento de maquinaria CNC es fundamental para alargar su vida útil, evitar pérdida de producción y asegurar la integridad del operario. Dentro de este se pueden encontrar dos tipos, el mantenimiento preventivo el cual se encarga de analizar las fallas antes que ocurran, normalmente se efectúa de manera periódica y se analizan todos los componentes de la CNC para asegurar el uso adecuado de esta. El mantenimiento correctivo se aplica solo al determinar una falla en el sistema, cabe destacar que este tipo suele ser más riesgoso para el operario y la máquina.

Realizar una adecuada elaboración del mantenimiento evita daños y asegura que la máquina sea segura para operarios, así como reducir tiempo y costos en la revisión de la máquina.

2.4.1. Preventivo

El mantenimiento mas recomendado es el preventivo ya que evita daños en la máquina, para analizar este tipo se detalla la elaboración de un plan de mantenimiento para una fresadora MFG de la Universidad de EAFIT en Medellín [21].

Inicialmente la CNC cuenta con un plan de mantenimiento periódico dividido e 9 puntos de control los cuales se realizan con un periodo desde una quincena hasta un trimestre. Las actividades más recurrentes son la lubricación de guías de los ejes y la limpieza general de la máquina. Otras actividades que se realizan de forma mensual son: Pruebas de movimiento y calibración, limpieza del tanque refrigerante y filtro, mantenimiento de herramienta, backup de información de computador, verificación de sensores y motores y el mantenimiento de la bomba como se muestra en la siguiente figura 2.4.1.

Puntos de Control	ACTIVIDADES A EJECUTAR	CONTROL
1	GUIAS: Lubricación de guías de cada eje con lubricante 556	Quincenal
2	Pruebas de movimiento y calibración de cada eje	Mensual
3	Limpieza de depósito de líquido refrigerante y su respectivo filtro	Mensual
4	Mantenimiento de herramienta	Mensual
5	Realizar backup de información del computador de control	Mensual
6	Limpieza general de la máquina	Quincenal
7	Verificación eléctrica, sensórica y motores	Mensual
8	Mantenimiento de bomba de taladrina	Mensual
9	Limpieza y mantenimiento de aspiradora	Trimestral

Figura 2.4.1: . Cronograma de mantenimiento actual para la fresadora CNC

Fuente:Laboratorio de Mecatrónica Universidad EAFIT

Hay que tener en cuenta que este tipo de máquinas presenta averías comunes en la parte mecánica, dentro de estas están los cambios de rodamientos, alineamiento de ejes y cabezal, nivelación, sustitución de correas, entre otros. Por lo que hay que tener un control de estos elementos, verificando la vida útil del rodamiento y correas, realizando el cambio de componentes de forma periódica [21].

Al momento de presentarse una falla o daño el operario se dirige a la maquina y analiza el error, este se puede guiar por tablas de fallas comunes divididas en los subsistemas principales de la maquina lo cual facilita el mantenimiento. En el mantenimiento de la fresadora MFG

de la universidad de EAFIT de Medellín se elaboro un sistema para determinan las fallas comunes que presenta la máquina, este se divide en 5 subsistemas: refrigeración, seguridad, soporte y posicionamiento (mecánico), control y eléctrico, dentro del cual se muestran los elementos del subsistema y las causas y daños que se puedan presentar con los respectivos métodos de detección y acciones correctivas, por último, se clasifica la gravedad del daño figura 2.4.2.

IDENTIFICACIÓN SUB-SISTEMA	IDENTIFICACIÓN ELEMENTO	FUNCIÓN	MODOS DE FALLA	CAUSAS	DAÑOS		METODOS DE DETECCIÓN	ACCIONES CORRECTIVAS	CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD (1-25)
					EFFECTOS LOCALES INCIDENTE	EFFECTOS FINALES ACCIDENTE			
sub-sistema de control	driver	controlar servomotores	desconexión	conexión defectuosa	servomotores desenergizados	ejes inmóviles	visual	conectar correctamente	5
			recalentamiento	alta temperatura en el gabinete	incorrecta operación de servomotores	daño en el driver por exceso de temperatura	termografía	rediseñar el sistema de ventilación del gabinete	10
	tarjeta de interfaz	controlar sentido de giro	sobrevoltaje	desconocida	quema de componentes	inoperabilidad del husillo	mediciones de voltaje	revisar voltaje que llega de la fuente	15
	tarjeta de control g-rex-100	controlar movimiento	mala programación	falla humana	descontrol del movimiento	choque/ acabados defectuosos/ inoperabilidad	pruebas y/o simulaciones	revisión minuciosa de programación	15

Figura 2.4.2: . Fallas comunes en subsistema de control

Fuente:Elaboración de plan de mantenimiento para fresadora MFG, Alexaner Sanchez,Universidad EAFIT

Como este se encuentran las tablas de mantenimiento predictivo los cuales indican los puntos de control y el plan de mantenimiento periódico figura 2.4.3.

ASEGURAMIENTO DE EQUIPO TALLER DE MECATRÓNICA							
Actualización Marzo de 2012	Plan de mantenimiento			Fresadora CNC marca MFG			
SUBSISTEMA DE CONTROL							
#	PUNTOS DE CONTROL	80 HORAS	160 HORAS	320 HORAS	1920 HORAS	3840 HORAS	DESCRIPCIÓN
1	Software					X	Actualizar si es posible.
						X	Verificar la interfaz entre el software y los controladores por medio Ethernet.
2	Tarjeta de interfaz			X			Verificar correcto funcionamiento para el cambio de sentido de giro de la herramienta.
				X			Verificar contactos y/o posibles cortos, además voltaje de operación (12 V).
3	Tarjeta de control G-REX100			X			Verificar contactos y/o posibles cortos.
4	Drivers			X			Verificar conexiones.
5	Start/Stop		X				Verificar corrector funcionamiento de la parada de emergencia.
Encargado: _____							
Supervisión: _____							
Observaciones: _____							

Centro de Laboratorios							
Universidad EAFIT							

Figura 2.4.3: . Frecuencias de mantenimiento subsistema de control

Fuente:Elaboración de plan de mantenimiento para fresadora MFG, Alexaner Sanchez,Universidad EAFIT

Capítulo 3

Metodología

El desarrollo de este proyecto usó una metodología dividida en 5 etapas: la primera es la inspección del torno Emco Compact 5 CNC la cual se divide en el diagnóstico mecánico y eléctrico de la máquina. La segunda etapa abarca el diseño del torno que se divide en actualización de componentes eléctricos en donde se reflejan los diagramas eléctricos realizados y diseño mecánico mostrando las piezas y planos requeridos para la puesta en funcionamiento. La tercera etapa se encarga del estudio de mercado, en esta se realizó la compra y fabricación de los diversos componentes del torno. El ensamblaje abarca la cuarta etapa en donde se muestra el montaje mecánico y eléctrico llevado a cabo para la máquina. Por último la quinta etapa contiene la configuración y calibración de los componentes en el software de control.

3.1. Inspección Emco Compact 5 CNC

El primer paso para realizar la actualización tecnológica de la Emco Compact 5 CNC es validar el estado de los sensores, actuadores, encoder y PCB. En esta sección se explica cómo funcionan los elementos y cuáles de estos se conservan en la máquina (Figura 1.0.1).

3.1.1. Diagnóstico Eléctrico

El sistema eléctrico de la CNC, figura A.0.1, está compuesto por varios componentes los cuales se evalúan para ver el funcionamiento y el estado de la máquina, como se detalla en la tabla 3.1.1, donde: Da es Dañado, Be es buen estado, C es se conserva y D es se deshecha.

Diagnóstico Eléctrico						
Componente	Da	Be	C	D	Comentario	Imagen
Interruptor giratorio	X			X	El interruptor electrónico solo puede ser accionado por llave, esta se encuentra extraviada, por lo tanto es necesario forzar este sistema de seguridad.	(Figura A.0.2, A.0.3 y A.0.4)
Motor de Husillo		X	X		El motor principal es un motor de DC, el cual funciona accionando un interruptor que energiza el motor mediante la PCB que controla un variador de frecuencia, un enconder, una display y un amperímetro. El encoder no está cableado y carece de puerto de entrada.	(Figura A.0.5 y A.0.6)
Actuadores		X		X	Los motores paso a paso de la máquina estaban desconectados y los cables dañados, al desmontarlos y validar con los planos del fabricante se muestra que es fabricado por Schittmotor, tiene un torque de 0.5 Nm (0.37 ft*lb), 5° por paso, 72 PPR, que funciona a 10 V con 2 A.	(Figura A.0.7 y A.0.8)
PCB		X	X	X	Aunque las placas PCB funcionan en su mayoría se retiran algunas para instalar el nuevo controlador del CNC, dentro de estas estan: adaptación para monitor externo, control de motores, lector de casetes, drivers de motores paso a paso de potencia, conversión de casetes al controlador. y se dejan ensambladas las siguientes PCB: control de husillo, adaptadores de voltaje (transistores, condensadores).	(Figura A.0.9 y A.0.18)

Cuadro 3.1.1: Diagnóstico Eléctrico

3.1.2. Diagnóstico Mecánico

La CNC Emco Compact 5 tiene en su parte mecánica: 2 Ejes (X y Z), una transmisión de husillo y un porta herramientas, para cada uno de estos aspectos se determina el estado de los componentes tabla 3.1.2.

Diagnóstico Mecánico						
Componente	Da	Be	C	D	Comentario	Imagen
Transmisión Eje X y Z		X	X		La transmisión de los motores paso a paso de sus dos ejes (X y Z) funciona bajo un mecanismo de poleas, al desmontar esta transmisión para diagnosticar el estado de los ajustes, rodamientos, correas y poleas, se logra evidenciar el deterioro de las dos correas, que cuentan con un paso 2 mm y la referencia es GT2. La transmisión de las poleas es de Z16 (Diámetro exterior 3/8") a Z40 (Diámetro exterior 1"). Las poleas están ensambladas al eje del motor paso a paso, cabe aclarar que al cambiar los motores estas poleas se tienen que fabricar, los ejes X y Z transmiten su movimiento mediante un sistema de tuerca sin fin de 8 mm de diámetro exterior, 10 hilos por pulgada, los rodamientos de estos se encuentran desgastados.	(Figura A.0.11, A.0.7, A.0.12 y A.0.13)
Porta Herramienta o torrera		X	X		El mecanismo del porta herramienta o torrera de 6 puertos está en buen estado, al desarmar este se aprecia el mecanismo de ajuste de herramienta, al cual no se le realizan modificaciones, un motor DC de bajo consumo que funciona a 12 V, 10 mA, 5290 rpm marca maxon es el que trasmite la potencia a la torrera, mediante un reductor de 60 a 1.	(Figura A.0.14, A.0.15 y C.0.1)
Transmisión del Husillo		X	X		La transmisión del motor DC es mediante 3 poleas, del motor sale la potencia a una polea, esta tiene ajuste de velocidad configurable con la segunda polea, y la última conecta directamente a husillo, cada polea tiene 3 canales diferentes.	(Figura B.0.1, B.0.3, A.0.16 y A.0.17)

Cuadro 3.1.2: Diagnóstico Mecánico

3.2. Diseño Mecánico

El diseño mecánico es fundamental para disminuir costos, evitar pérdidas de tiempo, y realizar una correcta preparación del ensamblaje de la máquina.

3.2.1. Límites de Carrera

Los límites de carrera evitan colisiones en la máquina, el torno Emco Compact 5 CNC no contaba con estos, los límites de carrera son elementos fundamentales en este tipo de máquinas controladas por un software de control numérico (Figura 3.2.1).

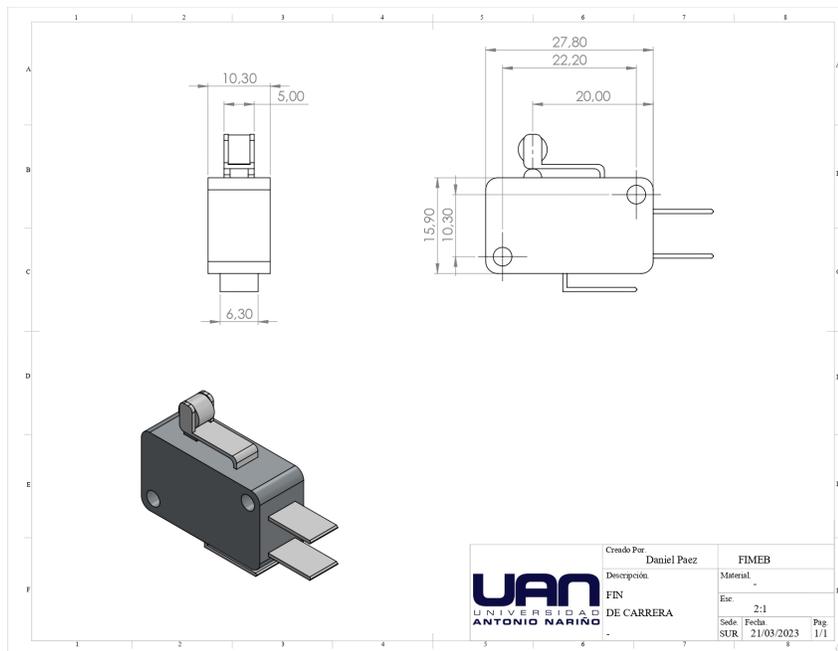


Figura 3.2.1: Fin de Carrera

Fuente: Autor

La instalación se realiza en los ejes X y Z, para el primero se instala -Z en la bancada al lado del husillo, mientras que para el +Z en el contra punto. Para el segundo eje se instalan los fines de carrera en el carro trasversal, en dirección opuesta al husillo para evitar daños al momento del arranque de viruta, el +X se acopla al borde del carro hacia el motor paso a paso del eje X, mientras que el -X en el lado opuesto a este figura 3.2.2. Para accionar los finales de carrera del eje X, es necesario fabricar una lámina con las siguientes dimensiones (Figura 3.2.3).

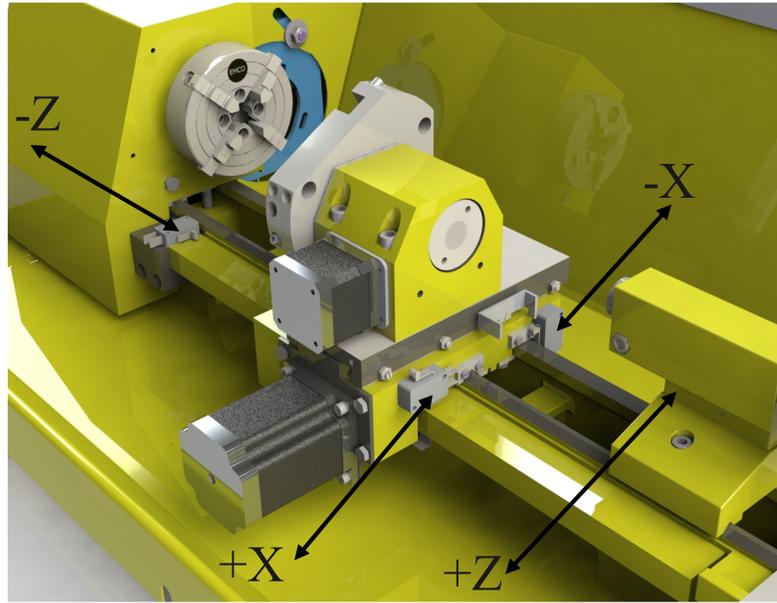


Figura 3.2.2: Finales de Carrera

Fuente: Autor

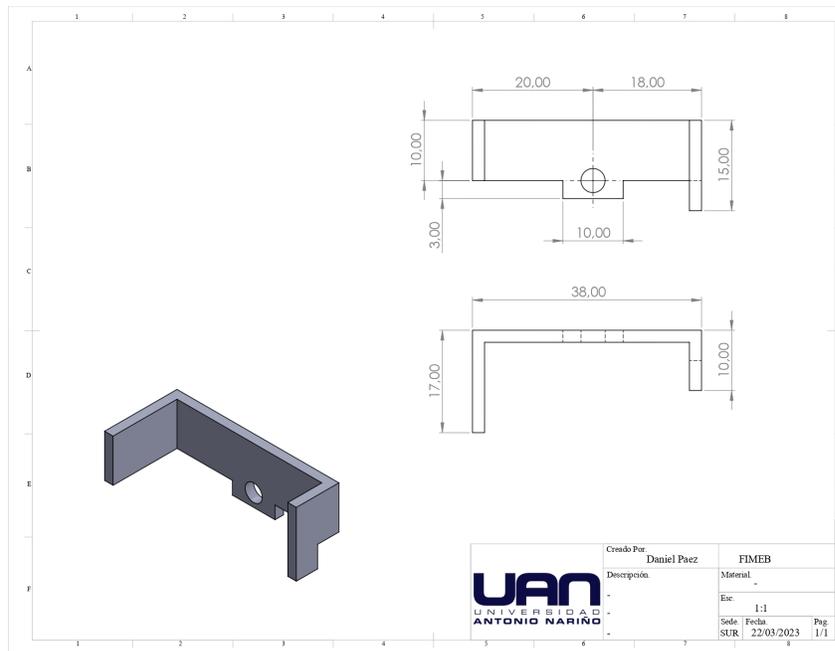


Figura 3.2.3: Lámina Fin de Carrera

Fuente: Autor

3.2.2. Anclaje Porta Herramienta

Para controlar el porta herramienta con el software a instalar se necesitan motores paso a paso, con el fin de determinar de manera correcta la posición de la máquina.

Los requerimientos para mover el porta herramienta como se evidencio anteriormente no son muchos solamente un motor de baja potencia.

Para anclar este se realiza una base, la cual aprovecha la posición del motor anterior y reajusta la posición del reductor 3.2.4.

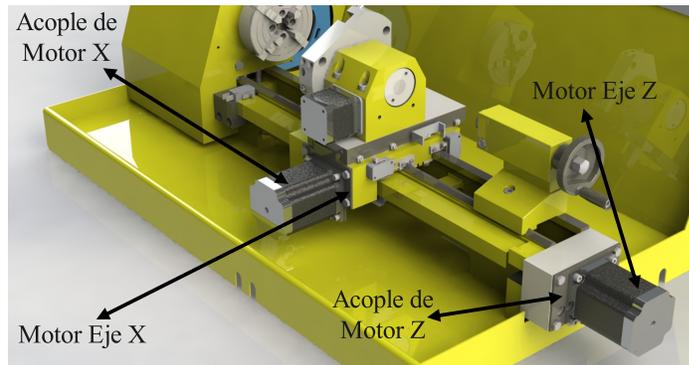


Figura 3.2.4: Motores Paso a paso y acoples
Fuente: Autor

3.2.3. Transmisión y Acople de Motores

Para el anclaje de los motores paso a paso de los ejes X y Z se aprovechan las láminas de los motores originales figura 3.2.5. Los motores paso a paso tienen sus medidas estandarizadas, por lo que las medidas que concuerdan con las originales son las de los nema 23 (Figura C.0.2 y C.0.3).



Figura 3.2.5: Acoples motores ejes Z y X
Fuente: Autor

3.2.4. Diseño CAD y Planos Mecánicos

Con la ayuda del software SolidWorks se realiza el diseño y los planos necesarios para ejecutar la puesta en marcha y la actualización tecnológica del torno Emco Compact 5 CNC.

GrabCAD, es una gran comunidad de ingenieros y diseñadores que comparten sus diseños con el fin de aprender como comunidad, en esta se realizan preguntas y se diseñan problemas de modelado para desarrollar soluciones innovadoras. El ingeniero Marinus Jeuring el 5 de diciembre del año 2014, sube a esta comunidad con la etiqueta Emco Compact 5 CNC un torno en el que estaba trabajando adaptándole nueva electrónica y el controlador Mach3, con el siguiente modelo en CAD figura 3.2.6.

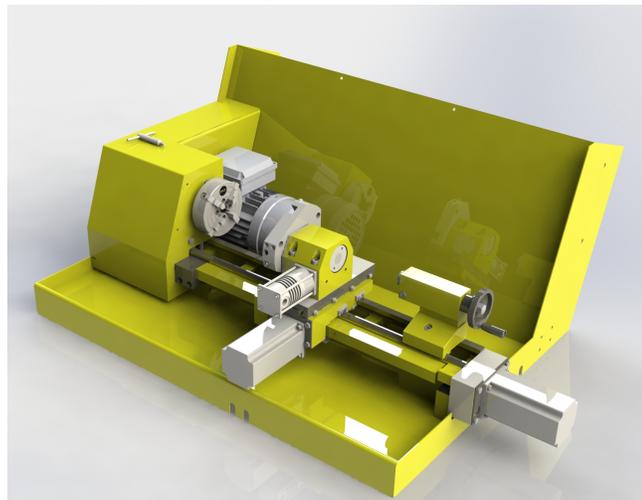


Figura 3.2.6: Emco Compact 5 CNC Marinus Jeuring
Fuente:Marinus Jeuring, 2014, Emco Compact 5 CNC, GrabCAD Community

Bajo este modelo se empieza a trabajar para realizar el diseño CAD del torno CNC, en el cual se le requieren cambiar los motores paso a paso Nema 23 y Nema 17, el motor que transmite el torque al husillo, la caja eléctrica y la pantalla, así como otros accesorios que el torno tiene. El diseño final del torno Emco Compact 5, sin la base del teclado se muestra en la figura 3.2.7.

Las medidas generales de la máquina en donde se describen: ancho, alto, profundidad, y las diferentes láminas de ensamblaje se muestra en la figura 3.2.8.

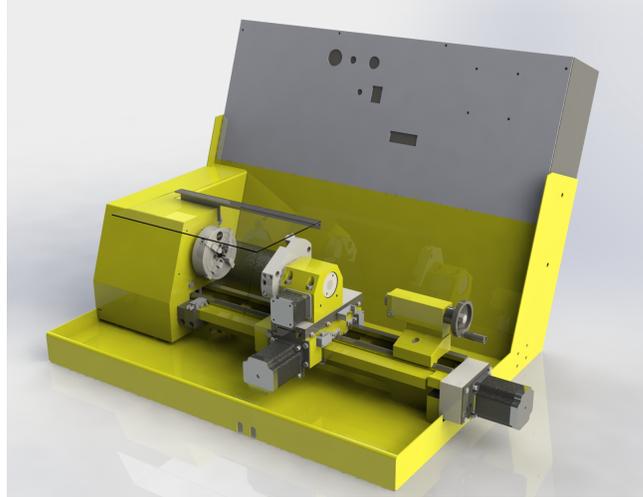


Figura 3.2.7: Emco Compact 5 CNC Completo
Fuente: Autor

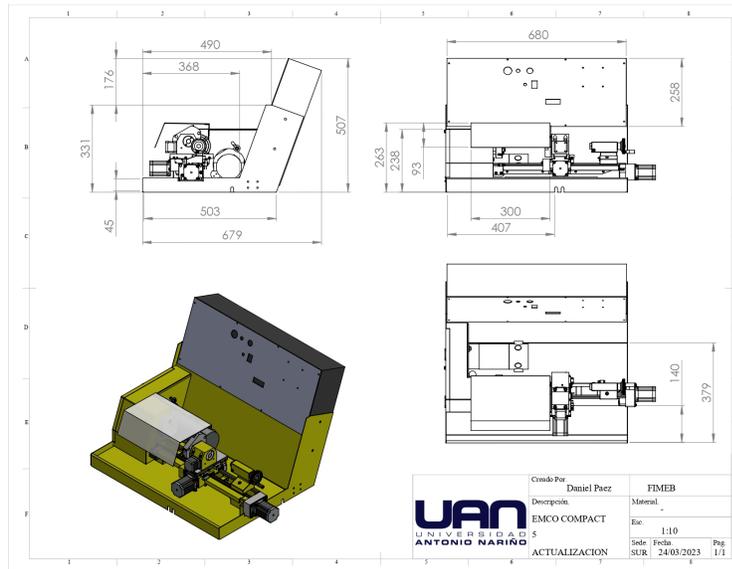


Figura 3.2.8: Emco Compact 5 CNC Actualización
Fuente: Autor

La importancia del diseño CAD permite ver detalles de construcción evitando pérdidas de tiempo y gastos de material. Como es el caso de los fines de carrera, es fundamental ver la posición en donde se van a alojar, según esta se debe analizar si es posible taladrar, roscar y si se activa el mecanismo antes que colisione la máquina (Figura 3.2.9).

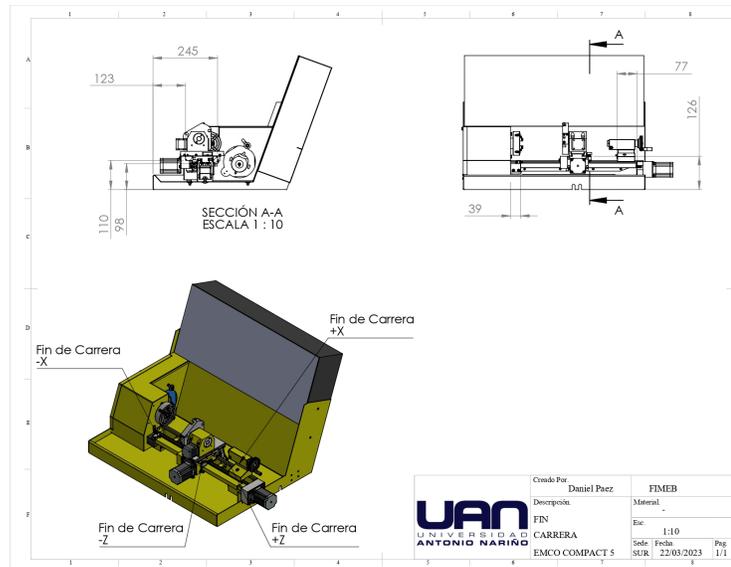


Figura 3.2.9: Fines de Carrera plano

Fuente: Autor

3.3. Componentes Eléctricos

La actualización de componentes eléctricos comprende todo lo relacionado con las conexiones, elementos y soportes necesarios para contener estos dispositivos.

3.3.1. Caja Eléctrica

En la caja eléctrica se almacenan todos los dispositivos electrónicos como: drivers, fuentes de alimentación, el controlador, entre otros. Se almacena la caja en el mismo lugar donde se encuentran los componentes electrónicos de la Emco Compact 5 en la parte posterior de la máquina, para esto se utilizan los mismos apoyos de la PCB de control.

Se acopla una lámina de 2mm de espesor, 300 mm ancho y 450 mm largo, y luego se procede a realizar una ranura en donde se alojan los cables que pasan de la pantalla a la computadora (Figura 3.3.1).

Cabe aclarar que los dispositivos electrónicos de la caja van ensamblados mediante tornillos y que la distribución de cables se realiza mediante canaleta ranurada.

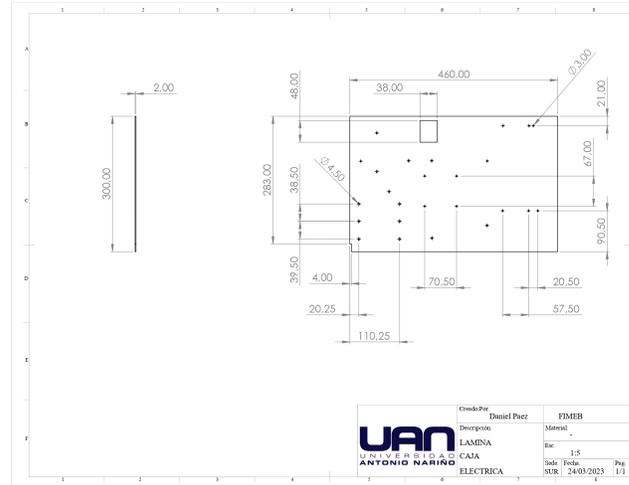


Figura 3.3.1: Lámina Caja Eléctrica

Fuente: Autor

3.3.2. Interfaz

La lámina que sostiene la pantalla y los puertos de entrada va atornillada en la parte delantera de la máquina. En el desensamblaje de la Emco Compact 5 se retiró la lámina exterior en donde iba alojada toda la interfaz, para reemplazar esta se acopla una nueva aprovechando los mismos tornillos y espacios de la original. En la parte superior derecha se encuentra la pantalla, a su izquierda se alojan las entradas (Parada de emergencia, frecuencia del motor, swicht giratorio, arranque del motor) (Figura 3.3.2).

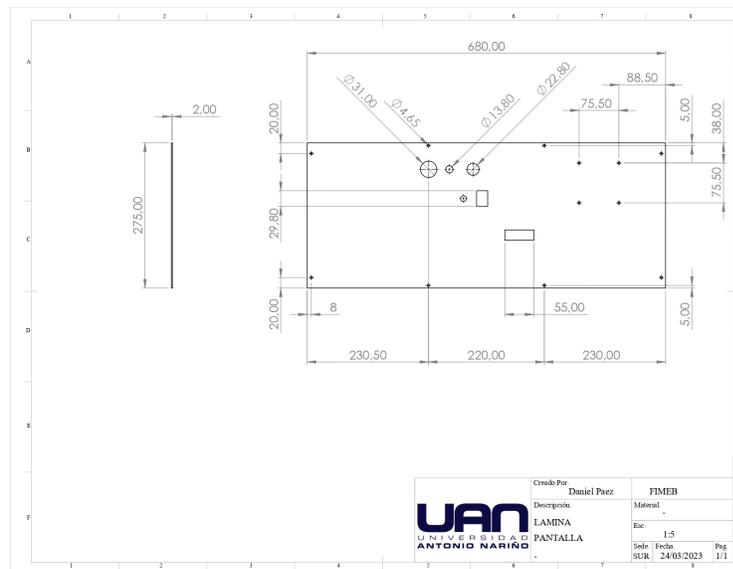


Figura 3.3.2: Lámina Pantalla plano

Fuente: Autor

3.3.3. Motores

3.3.3.1. Eje X y Z

Para cambiar los motores paso a paso se debe tener en cuenta las características del motor del husillo, más específicamente el torque y la velocidad, y así se determinan los motores a utilizar.

La potencia de entrada del motor es de 500 W, y de salida es de 200 W, entonces la potencia máxima es de 0.67 HP, y su velocidad está entre 600 a 4000 rpm. Para determinar el torque requerido se utiliza la ecuación 2.2.1.

$$T(\text{Torque}) = \frac{0,67 * 5252}{4000} = 0,87Nm \quad (3.3.1)$$

Reemplazando los valores se determina que el torque requerido para los motores paso a paso es de 87 Ncm, sin tener en cuenta la transmisión de poleas (Ecuación 3.3.1).

En las características originales del torno Emco Compact 5 CNC se aprecia que no puede mecanizar materiales semiblandos, previniendo futuras mejoras se aplica al valor obtenido 0,87 Nm un factor de corrección, con esto se logra aumentar estas características para mecanizar materiales como aceros de bajo contenido de carbono con menor esfuerzo, también se evitan esfuerzos en los motores paso a paso lo que aumenta la vida útil de estos. Por tanto se opta por un motor paso a paso de 1.9 Nm para los ejes X y Z del torno CNC.

3.3.3.2. Porta Herramienta

La torrera utiliza un motor DC de bajo consumo y su reemplazo no se requiere de un motor paso a paso de mucha potencia, por tanto, se utiliza un motor Nema 17 (17HS4401) con características: 1.7 A, 1.8° (200 PPR), 40 Ncm (56.2 onz.in), 1000 rpm.

Cabe aclarar que el reductor del anterior motor se retira para dejar la transmisión directa.

3.3.4. Planos y Diagramas Eléctricos

El diagrama electrónico de la máquina es fundamental para entender el sistema y su funcionamiento, este se puede dividir en dos secciones. La primer sección es el diagrama eléctrico antiguo, este maneja el motor del husillo y la board que suministra la energía al sistema, así mismo se pueden detallar el switch que enciende la máquina (Figura 3.3.3).

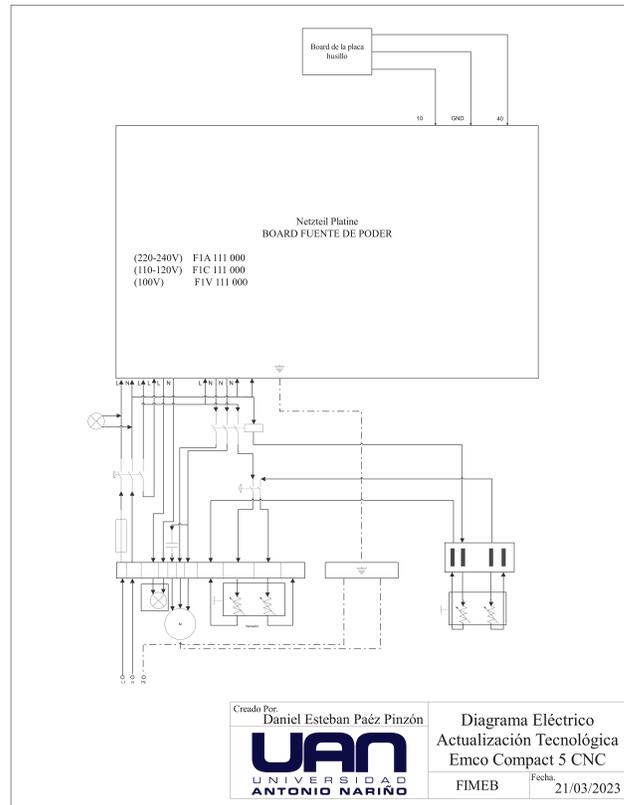


Figura 3.3.3: Diagrama Eléctrico Emco Compact 5 CNC Husillo

Fuente: Autor

La segunda sección es la nueva electrónica de la máquina, en la cual se muestran los motores paso a paso, los drivers, el controlador, los límites de carrera, el computador y la pantalla. A estos se les suministra energía mediante dos fuentes conmutadas de 12 y 24 V (Figura 3.3.4).

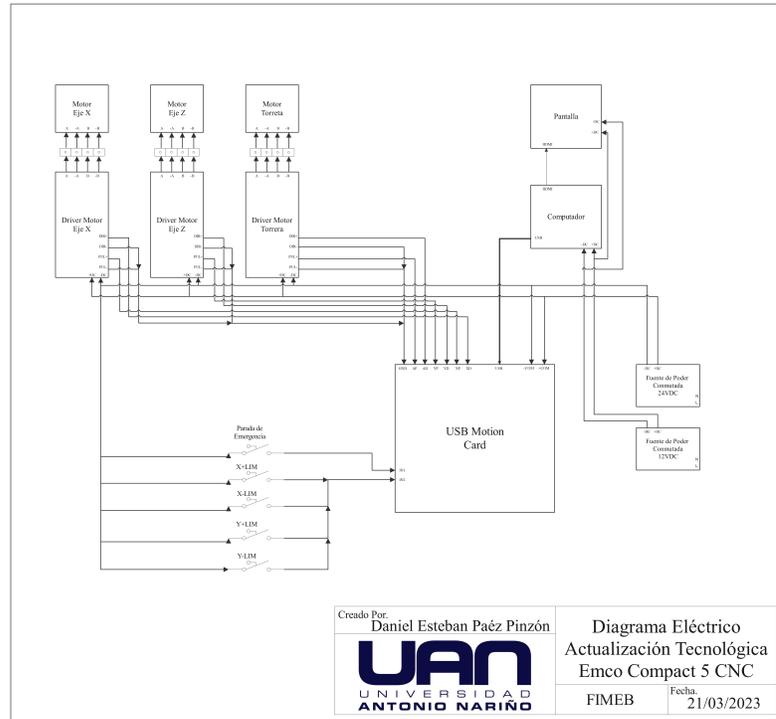


Figura 3.3.4: Diagrama Eléctrico Emco Compact 5 CNC Mach3
Fuente: Autor

3.3.5. Controlador

Para controlar la CNC se utiliza el software Mach3 con la computadora que se encuentra en la caja eléctrica, a esta se le conectan los drivers que posteriormente controlan los motores y los finales de carrera.

3.4. Compra y Fabricación Elementos

Para lograr los diseños previstos se requiere realizar un análisis comercial y determinar los componentes que se encuentran comercialmente, así como elementos que son necesarios fabricar.

3.4.1. Compra

Los parámetros para comprar los elementos son los siguientes: Disponibilidad (Con el fin de conseguir repuestos más fácil), precio (Ser asequible para la comunidad estudiantil) y compatibilidad (Los dispositivos u objetos deben ser compatibles entre ellos).

3.4.1.1. Motores paso a paso

Para los motores paso a paso se seleccionaron los Nema 23 de los cuales se adquieren de la marca Stepperonline (Figura 2.2.1), aunque estos motores pueden ser cambiados por otra marca desde que tengan las mismas características que se presentan en la tabla 3.4.1.

Características Motor Nema 23 23HS30-2804S	
Especificación	Valor
Amperaje	2.8 A
Angulo de giro	1.8°
Torque	1.9 Nm
Inercia Rotor	440 gcm ²
Peso	1.10 kg

Cuadro 3.4.1: Características Motor Nema 23

Los motores Nema 17 se adquieren de la misma marca. Al igual que los Nema 23, si se requiere realizar un cambio al motor debe contar con las mismas características, mostradas en la tabla 3.4.2.

Características Motor Nema 17 14HS4401	
Especificación	Valor
Amperaje	1.7 A
Angulo de giro	1.8°
Torque	0.4 Nm
Inercia Rotor	440 gcm ²
Peso	220 g

Cuadro 3.4.2: Características Motor Nema 17

3.4.1.2. Drivers

Los drivers son dispositivos que controlan los motores paso a paso y es fundamental que estos sean compatibles, es importante que los drivers tengan el mismo amperaje que los motores. Con base a esta información se utilizan los drivers TB6600 (Tabla 3.4.3).

Características Drivers TB6600	
Especificación	Valor
Corriente de Entrada	0-5.0 A
Corriente de Salida	0.5-4.0 A
Potencia Maxima	160 W
Temperatura	-10 - 45°C
Peso	200 g
Voltaje de entrada	9 - 42 V

Cuadro 3.4.3: Características Drivers TB6600

3.4.1.3. Fuentes de alimentación

La fuente de alimentación suministra energía a toda la parte eléctrica, se debe realizar el cálculo del consumo de energía para la fuente, con este valor se determina si es capaz de entregar la energía a todos los elementos.

Como se detalla en la tabla 3.4.3, los drivers funcionan entre 9 y 42 V, mientras que el computador y la pantalla funcionan a 12 V. por lo cual se deben de tener por lo menos dos fuentes de alimentación con diferente voltaje.

Para determinar la potencia de la fuente de 24 V se debe analizar el amperaje que requieren los drivers y motores. El cálculo de la potencia se obtiene de la siguiente formula (Ecuación 3.4.1).

$$P = V * A \quad (3.4.1)$$

Se calcula la potencia requerida de la fuente donde se obtiene: (Ecuación 3.4.2).

$$\begin{aligned}
 P &= (24V * 1,7A) + (24V * 2,8A) + (24V * 2,8A) \\
 &= (24 * (1,7 + 2,8 + 2,8)) = 175,2W
 \end{aligned} \quad (3.4.2)$$

Con base a este resultado se adquiere una fuente de alimentación de 24 V a 10 A, la cual tiene una potencia de 240 W (Ecuación 3.4.3).

$$P = (24V * 10A) = 240W \quad (3.4.3)$$

Para determinar la fuente de alimentación de 12 V se realiza el mismo calculo, teniendo en

cuanta los requerimientos del computador y de la pantalla (Ecuación 3.4.4).

$$\begin{aligned} P &= (12V * 2,0A) + (12V * 2,0A) \\ &(12 * (2,0 + 2,0)) = 48W \end{aligned} \tag{3.4.4}$$

En el mercado se encuentran fuentes de alimentación conmutadas de 12 V a 5, 10, 20 y 30 A, contemplando mejoras a largo plazo no se adquiere la fuente de alimentación de 12 V a 5 A, la cual se entrega una potencia de 60 W. Se adquiere una fuente de alimentación de 12 V a 10 A, esta suministra 120 W, los cuales permiten adicionar mejoras al torno, como lo puede ser una bomba de agua que funciona con aceite soluble para refrigerar la pieza mecanizada. (Ecuación 3.4.5).

$$P = (12V * 10A) = 120W \tag{3.4.5}$$

3.4.1.4. Mach3

El controlador que se instala en el computador es el Mach3, se opta por este ya que es uno de los más conocidos y de fácil acceso, compatible con los motores paso a paso y los drivers. La interfaz de esta es la tarjeta de control Mach3 USB 100 kHz de 4 ejes, aunque se van a utilizar 3 ejes, la conexión mediante USB necesita un plugin (Controlador).

El puerto de conexión al computador es otro factor fundamental, la mayoría de boards utilizan puerto paralelo, aunque los computadores modernos no integran este tipo de conexión, por ende, se optó por una board con un puerto más moderno, que es el caso de la Mach3 USB.

3.4.1.5. Minicomputador

Para determinar este elemento se debe tener en cuenta diferentes factores como: el tamaño, la potencia y el precio. El primer aspecto a tener en cuenta es el tamaño del computador, este no podía ser de gran tamaño para no ocupar toda la caja eléctrica.

Los requisitos para manejar el Mach3 no son demasiados (Procesador de 1 GHZ, 512 MB de RAM, placa de vídeo de 32 MB), y un puerto USB.

El minicomputador que tiene mejor relación calidad precio es el Atopnuc Intel Celeron N4020

Características Mini PC	
Especificación	Valor
CPU	Celeron N4020
RAM	DDR4 de 4 GB
Sistema Operativo	64 bits
almacenamiento	eMMC de 128 GB

Cuadro 3.4.4: Características Mini PC

como se detalla en la tabla 3.4.4, este cuenta con características buenas para ser un mini pc, siendo capaz de ejecutar el controlador mach3 y otros programas en paralelo sin tener bajo rendimiento, las medidas de este computador son de: ancho 135 mm aproximados, 170 mm de largo y con una profundidad de 34 mm, cumpliendo la medida requerida para la caja eléctrica. Así mismo este solo pesa 322 g.

3.4.1.6. Pantalla

El monitor debe ser de dimensiones reducidas esto por la placa externa de la Emco Compact 5 CNC como se ve en la figura 3.3.2, la pantalla no debe superar las 11 pulgadas y la sujecion de los tornillos tiene un espacio maximo de ensamblaje de 100 milímetros por 100 milímetros como se muestra en la figura A.0.18 en la parte superior izquierda. Asi mismo debe estar ensamblado cerca al computador ya que la distribucion de las láminas y PCBs no dejan espacio libre para pasar los cables de poder y HDMI.

La pantalla mas adecuada es de 10 pulgadas marca Hikity, la cual cuenta con cable HDMI, altavoces integrados (Ayuda a identificar problemas en los programas) y taladros roscados en la parte posterior para facilitar el ensamblado de la pantalla, estos taladros tienen un espacio entre centros de 75.5 milímetros, los cuales cumplen con los requerimientos para el torno CNC.

3.4.1.7. Conexión

Para el cableado de la máquina se requieren: 5 metros de cable 16 AWG UL2464 (blanco, azul, naranja y amarillo), 15 metros cable dual 16 AGW UL2464 (negro y rojo) y terminales para las conexiones.

Estos soportan 300 V a 3.7 A, y resisten temperaturas de hasta 80°C (Figura 3.4.2), se elige este calibre dado que el calibre 18 AWG soporta 2.5 A exponiendo los componentes electricos

como se muestra en la figura 3.4.1.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,4	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,4	120
2	6,544	33,63		295	1,5	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,8	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,3		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,7	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6
15	1,45	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,15	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5

Figura 3.4.1: Tabla cable AWG

Fuente:Academia, Alejo, Tabla AWG

Sheath material	Rating	
	Temperature (°C)	Voltage (V)
UL20276	80	30
UL2464		300
UL2570		600
UL2517	105	300
UL2586	105	600

Figura 3.4.2: Tabla cable UL2464

Fuente:Conformity standard, UL2464

3.4.2. Fabricación

Los elementos que no se encuentran comercialmente o piezas que se necesiten para operaciones específicas se fabrican.

3.4.2.1. Poleas

La transmisión de los ejes X y Z tienen un sistema de poleas. Para ambos casos las poleas que se conectan a la tuerca sin fin se encuentran en buen estado, mientras que las poleas que

se ensambla al motor están desgastadas y su extracción del eje del motor paso a paso las dañaría.

Comercialmente se encuentran poleas con el mismo paso, aunque el tamaño y el número de dientes son diferentes, cambiando las dimensiones en la máquina, en donde no entran los motores con estas poleas. Por este motivo la fabricación de las poleas es necesaria, se fabrica según las medidas originales cambiando el largo de la polea, esto por que el eje del motor Nema 23 es más corto que los motores originales de la máquina. (Figura C.0.5).

3.4.2.2. Lámina Fin de Carrera

Para accionar los límites de carrera del eje X es necesario fabricar una lámina la cual se encarga de accionarlos.

Esta lámina debe tener un punto de apoyo, el cual es un tornillo de la bancada transversal en este se apoya la torreta (Figura 3.2.3).

3.4.2.3. Acoples

Los motores de la Emco Compact 5 son similares a los Nema 23, por ende, los acoples de los ejes X y Z son compatibles, y para estos motores solo se ensamblan las poleas a fabricar. Mientras que el motor original de la torreta tiene medidas diferentes a las del Nema 17, por esto hay que fabricar un acople.

En la fabricación de la lámina se reutilizan los tornillos del reductor con el fin de acoplar esta, se le realizan taladros roscados para ensamblar el motor (Figura C.0.2 y C.0.3).

3.5. Ensamblaje Mecánico

Una vez realizado el diseño mecánico se lleva a cabo el ensamblaje de las piezas que se compraron y fabricaron.

3.5.1. Instalación Fines de Carrera

Para instalar los finales de carrera es necesario taladrar y roscar, con esto se puede atornillar los tornillos de 3 milímetros, se eligen estos por las ranuras de los finales de carrera como se

puede apreciar en la figura 3.2.1 se acoplan a la base de la máquina (Figura 3.5.1).



Figura 3.5.1: Limite de Carrera

Fuente: Autor

Una vez ensamblados los fines de carrera se procede a instalar la lámina de acción para el eje X, cabe aclarar que esta lámina se ensambla a la bancada transversal.

3.5.2. Motores

Una vez realizada la fabricación de las poleas, correas y el acople del motor porta herramienta se ensamblan los componentes (Figura 3.5.2).



Figura 3.5.2: Montaje de Motores paso a paso

Fuente: Autor

3.6. Ensamblaje Eléctrico

Teniendo claro el sistema eléctrico y sus partes se realiza el ensamblaje y adaptación de la máquina.

3.6.1. Caja Eléctrica

Se ancla la lámina de la caja eléctrica (Figura 3.3.1), con los respectivos dispositivos que controlan la máquina (Figura 3.6.1).



Figura 3.6.1: Placa Electrónica Nueva

Fuente: Autor

Esta como ya se mencionó se acopla al lado de la fuente de poder y el control del husillo (Figura 3.6.2).

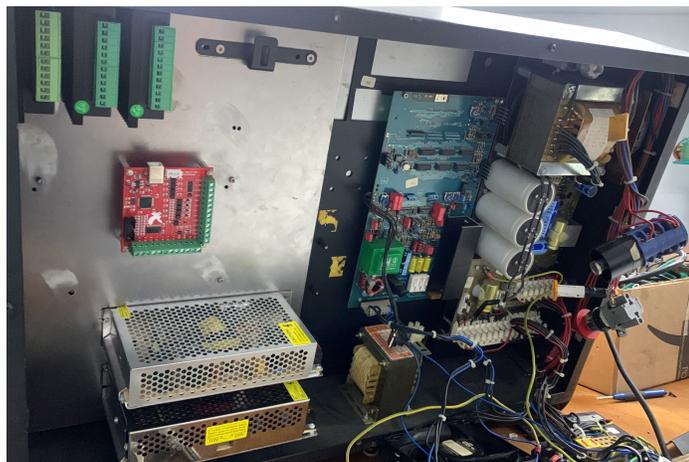


Figura 3.6.2: Placa Electrónica

Fuente: Autor

El computador se ensambla de acuerdo a la ranura, para que el usuario pueda acceder a algunos puertos del computador y al botón de encendido y apagado (Figura 3.6.3).



Figura 3.6.3: Apertura para computador
Fuente: Autor

3.6.2. Pantalla

Con los planos realizados (Figura 3.3.2), se determinan el puesto de la lámina delantera, antes de ensamblar la placa electrónica es pertinente acoplar la pantalla a la lámina con sus respectivos tornillos y tuercas (Figura 3.6.4).



Figura 3.6.4: Ensamblaje de Pantalla
Fuente: Autor

3.6.3. Cableado

Con los componentes ensamblados se procede a realizar el cableado según el diagrama (Figura D.0.1), en donde se conecta las fuentes de poder al interruptor giratorio, estos a su vez

alimentan a drivers, pantalla, computador, motores, límites de carrera y al mach3 (Figura 3.6.5).

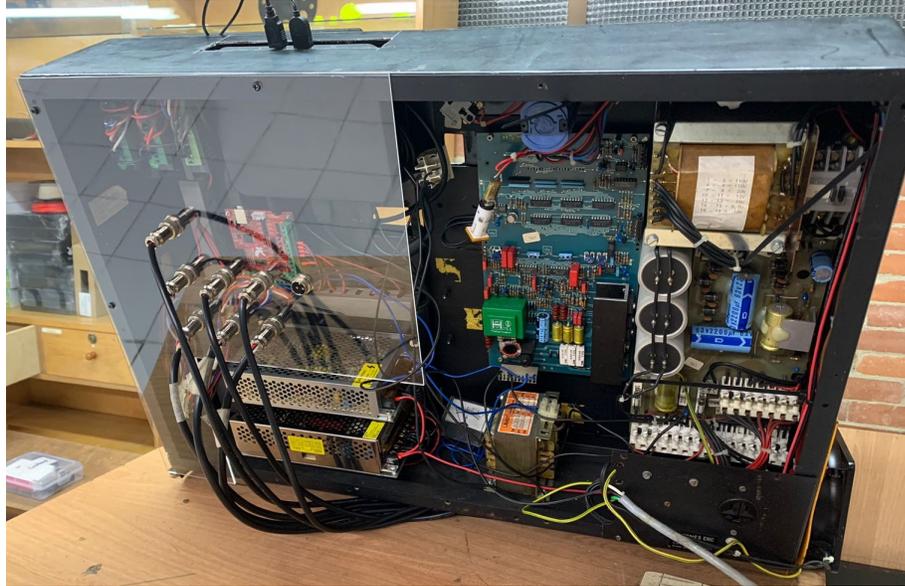


Figura 3.6.5: Cableado Final

Fuente:Autor

3.7. Calibración de Motores

Para comprobar el estado de sistema y el cableado, se ejecuta la configuración del computador y del Mach3, para iniciar las pruebas con los motores y fines de carrera.

3.7.1. Pasos por milímetro

En la calibración de los motores paso a paso hay que tener en cuenta varios factores: el ángulo de giro por cada pulso, la distancia recorrida en la bancada por cada revolución del motor y la configuración del driver. Para este caso se tienen motores Nema 23 con un torque de 1.9 Nm, por cada pulso enviado del driver el motor recorre 1.8° , la transmisión de la polea Z16 a Z41 reduce el paso del motor a 4.61° , resultando por cada pulso la bancada recorre 0.004968 mm.

Para determinar las revoluciones por milímetro se determina mediante la siguiente expresión (Ecuación 2.2.2).

$$\frac{360 * 0,004968}{1,8} = 0,9936mm \quad (3.7.1)$$

El desplazamiento generado por cada giro del motor es de 0.9936 mm, para determinar los pasos por milímetro recorrido se debe tener en cuenta los pulsos emitidos por el driver en este caso es 1600 PPR (Ecuación 2.2.3).

$$\frac{1600}{0,9936} = 1610 \quad (3.7.2)$$

En donde el controlador Mach3 debe conocer los pasos por milímetro recorrido, para estos motores con esta transmisión es de 1610 pasos por milímetro.

3.7.2. Velocidad

La velocidad limite está determinada por varios factores: la frecuencia de comunicación del Mach3, los pulsos de los drivers y el recorrido de la bancada. El primer paso es determinar la velocidad en revoluciones por segundo del Mach 3 y los drivers (Ecuación 2.2.4).

$$\frac{100000}{1600} = 62,5 * 60 = 3750rpm \quad (3.7.3)$$

Para determinar los milímetros por minuto teóricos se multiplica por la transmisión de la bancada (Ecuación 2.2.5).

$$3750 * 0,9936 = 3726 \frac{mm}{min} \quad (3.7.4)$$

La velocidad teórica es de 3726 milímetros por minuto, aunque los motores son capaces de llegar a estas revoluciones disminuyen en gran cantidad la fuerza(Figura 3.7.1).

Se aplica una reducción en la velocidad para aumentar la fuerza (Ecuación 2.2.6).

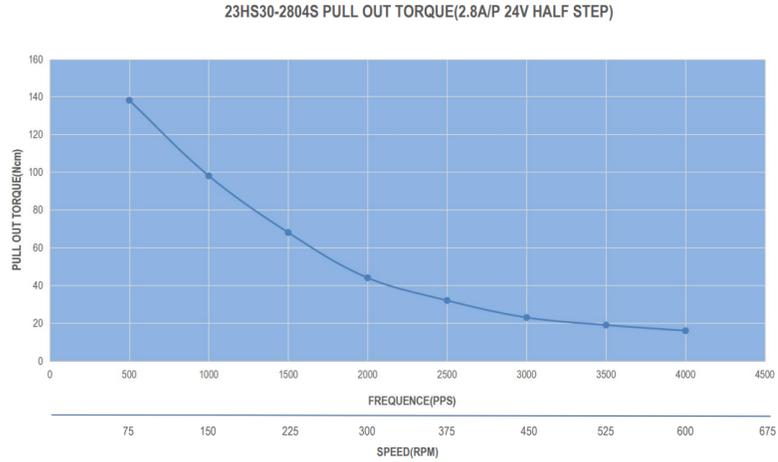


Figura 3.7.1: Gráfica Motor Nema 23

Fuente: Stepperonline, 2022, Stepper motor 23HS30-28040S datasheet

$$3726 \frac{mm}{min} * \frac{1}{5} = 745,2 \frac{mm}{min} \quad (3.7.5)$$

Como se detalla en la gráfica torque con respecto a la velocidad de los motores Nema 23 de 1.9Nm a esta velocidad se tiene un torque de 1.1 Nm.

Capítulo 4

Análisis y resultados

4.1. Costos Emco Compact 5 CNC

Realizada la puesta en funcionamiento de la máquina Emco Compact 5 CNC figura 4.4.1, se recopilan las facturas generadas en todo el proceso de restauración del torno (Tabla 4.1.1).

Gastos Emco Compact 5 CNC	
Componente	Valor (COP)
Monitor HDMI 10 Pulgadas	\$400.000
Mini PC	\$1'000.000
Kit de Herramienta de prensado	\$175.000
Cable de alimentacion 16 AWG 4 cables	\$160.000
Cable de alimentacion 16 AWG 2 cables	\$105.000
Motores paso a paso Nema 23 2.8 A 1.9 Nm	\$300.000
Herramienta de Crimpado	\$200.000
Fuente de alimentacion 24 V 10 A	\$100.000
Drivers motor paso a paso	\$90.000
Fuente de alimentacion 12 V 10 A	\$50.000
Correa GT2 10 mm Paso 2	\$25.000
Motor paso a paso Nema 17 1.7 A	\$85.000
Fabricacion de poleas	\$260.000
Gastos Varios	\$100.000
Total	\$3'050.000

Cuadro 4.1.1: Gastos Emco Compact 5 CNC

Los gastos para realizar la actualización tecnológica y puesta en funcionamiento de la Emco

Compact 5 CNC fueron de tres millones cincuenta mil pesos colombianos, sin tener en cuenta la mano de obra. El valor de los componentes eléctricos usados para el torno CNC fueron de dos millones seiscientos noventa mil pesos colombianos, mientras que los gastos de fabricación son de trecientos sesenta mil pesos colombianos. los componentes más costosos dentro de la actualización tecnológica fueron el computador y el monitor, estos componentes eran opcionales dentro de la actualización, ya que se puede controlar la máquina desde un computador externo, y manejar múltiples CNC.

Si se evalúan los componentes mínimos para realizar la puesta en funcionamiento de la Emco Compact 5 se tendría que el costo total de la actualización tecnológica es de un millón cuatrocientos setenta y cinco mil pesos colombianos, asumiendo que el computador es suministrado por la Universidad se reduce el gasto más de la mitad del costo original.

Se compara el costo total del torno CNC con la máquina planteada en la justificación (Bochi CK20), en donde se tiene un valor a favor de veintiocho millones cuatrocientos cincuenta mil pesos colombianos, lo cual hace una opción viable la actualización tecnológica de maquinaria antigua y convencional.

4.2. Manual de operación y mantenimiento

En el manual de operación y mantenimiento adjunto se encuentra el siguiente contenido:

- Breve descripción de la máquina: En esta sección se describen las medidas generales del torno CNC, como lo son dimensiones de bancada, contrapunto, torreta, cabezal, ejes y motores (Motor paso a paso y motor DC).
- Prevención de accidentes: Datos para tener en cuenta antes de encender el torno.
- Datos técnicos de los componentes del torno CNC: En estos datos se describen las características del minicomputador, ajustes y transmisiones de los ejes X, Z y el motor del husillo, la forma teórica y práctica de encontrar la velocidad de corte, velocidad de avance, velocidad de husillo y la transmisión adecuada para cada tipo de operación.
- Planos mecánicos y diagramas eléctricos: En los planos se detallan las medidas de los diferentes componentes de la Emco compact 5 CNC, sus actualizaciones y las diferentes transmisiones. En los diagramas eléctricos se describen las conexiones y todos los

componentes eléctricos de la máquina, en donde se detalla la actualización tecnológica y los componentes antiguos que se conservaron.

- Descripción del software: En esta se encuentra el paso a paso de la instalación del software con los controladores necesarios, las características del controlador mach3 y la configuración de los motores, fines de carrera, inputs y outputs, para controlar el torno CNC.
- Operaciones básicas del CNC: Para conocer y ejecutar diferentes comandos dentro del programa se realiza una sección introducción al lector en los diferentes tipos de operaciones elementales que se encuentran en los procesos de mecanizado. En esta sección se mencionan las direcciones y el orden del código G, algunas funciones de rutas y acciones de programación.
- Mantenimiento del torno Emco Compact 5 CNC: Por último, se describen 3 modelos de mantenimiento que se pueden ejecutar en el torno.

4.3. Guía Practica

Se diseña una guía práctica del torno CNC, en esta se ejecutan operaciones básicas de mecanizado como lo son: posicionamiento rápido, movimiento lineal de mecanizo, torneado en ciclo, movimiento circular y ciclo de roscado. La guía práctica adjunta se complementa con la sección operaciones del CNC dentro del manual de operación y mantenimiento.

4.4. Funcionamiento

La puesta en funcionamiento de la Emco Compact 5 CNC dio resultados satisfactorios, se cumple el objetivo, aunque el funcionamiento tiene carencias por limitaciones de la actualización tecnológica, como lo es el motor del husillo al no contar con un encoder limita el funcionamiento óptimo de la máquina, disminuyendo la producción al no permitir la regulación de las revoluciones por minuto del husillo, así mismo para cambiar el rango revoluciones del motor del husillo hay que ajustar las poleas lo que convierte este proceso en un retraso al momento de mecanizar.



Figura 4.4.1: Puesta en Funcionamiento de la Máquina Emco Compact 5
Fuente: Autor

4.4.1. Correas transmisión eje X y Z

La correa de transmisión para los ejes X y Z del torno Emco Compat 5 CNC cuenta con una medida especial de 60 dientes y ancho 10 milímetros, por tanto, esta medida no es comercial, se obtuvo el metro de correa paso 2 milímetros GT2 y a partir de este se elaboró la unión requerida. Se realizaron cuatro pruebas para ver la adherencia, resistencia y flexibilidad, para cada una de las pruebas se elaboran 2 correas adheridas con la ayuda de pegante instantáneo, una con marca Loctite y la otra con tesa.

En la primera prueba se realizó la unión de las correas sin ningún tipo de refuerzo. Al no tener refuerzo la correa no soporta la tensión entre poleas y se revienta en la zona de unión. Al detallar las carencias de las primeras correas, se realiza una segunda prueba añadiendo un pequeño refuerzo en la zona de unión, este refuerzo es del mismo material de la correa (Caucho de nitrilo), como se detalla en la figura 4.4.2 la unión tiene un largo de 10 milímetros. Al igual que la primera prueba esta falla, dado que la zona de adherencia es pequeña y se cristaliza el pegante generando la ruptura de la correa.

La tercera prueba aumenta el largo de adherencia del caucho de nitrilo recubriendo caso por completo la correa, en esta se ve un aumento de la fuerza de adherencia pero disminuye la



Figura 4.4.2: Segunda prueba unión correa
Fuente: Autor

flexibilidad dado el pegante que se utilizó (Figura 4.4.3), al ensamblarlo en la máquina se detalla como presenta un gran esfuerzo para adaptarse a la forma de las poleas, funciona aunque por la carencia de la flexibilidad la transmisión pierde pasos, a largo plazo este tipo de unión va a perder fuerza por que el pegante se cristaliza y el caucho de nitrilo va a ceder.

Vistas las fallas de las anteriores correas se realiza una cuarta prueba utilizando un material flexible que recubra toda la correa sin perder flexibilidad ni fuerza. Para remplazar este tejido se debe conocer la composición de una correa, la cual está conformada por un caucho elastómero y por dentro de este tiene una malla dentada y cordones de tracción los cuales aumentan la resistencia de la correa, con el fin de simular un material parecido a estos se opta por tela de esparadrapo dada su resistencia como se muestra en la figura 4.4.4. Esta presenta una mejor flexibilidad y adherencia que las anteriores pruebas.

Si bien se reemplazan las correas originales cabe destacar que se puede utilizar un pegante para cauchos que pueda tener una mejor resistencia a la flexibilidad, no se realizan pruebas con pegante de caucho por falta de un distribuidor de pegantes.



Figura 4.4.3: Tercera prueba unión correa
Fuente: Autor



Figura 4.4.4: Cuarta prueba unión correa
Fuente: Autor

4.5. Precisión

La precisión en la maquina depende de varios factores como: la calibración de las variables en el software, el estado de rodamientos, el juego en la bancada, el estado de la correa, entre otros. Con el fin de determinar la precisión de la maquina se realiza una prueba de mecanizado en un aluminio de diámetro 15.21 milímetros, y largo 50 milímetros.

4.5.1. Eje Z

Para determinar el ajuste en carro longitudinal o el eje Z, se realiza una prueba con una velocidad determinada de 150 m/min el cual recorre 15 mm. Para esto se mecaniza con una profundidad de 0.5 mm la pieza al extremo del lado derecho, y el motor paso a paso transmite el movimiento al eje Z moviendo el carro en dirección -Z, después de esto se mecaniza de nuevo 0.5 mm en la pieza para determinar la distancia recorrida (Figura 4.5.1).



Figura 4.5.1: Precisión en eje Z

Fuente:

La distancia recorrida fue de 15.03mm, con esto se valida el calculo realizado en 1610 pasos por revolucion configurados en el controlador, lo que mueve el carro 0.9936 mm por cada revolución en el motor paso a paso. El desajuste es aceptable ya que es por debajo de una décima (Figura 4.5.2).



Figura 4.5.2: Mach3 Precisión Eje Z

FuenteAutor:

Como se aprecia en el software Mach3 el movimiento transmitido en el eje Z es de 15.03 mm, esto por la resolución configurada en el driver, se puede aumentar esta, aunque la fuerza disminuye de forma radical, dado que el desajuste es bajo se mantienen los ajustes realizados.

4.5.2. Eje X

Con un buril izquierdo se realiza la prueba de precisión en el eje X, el diámetro del eje se mecaniza en una primera instancia en 15 mm, luego de esto se mecaniza el diámetro de la pieza en 13 mm con 2 mm de largo, con un avance de 100 mm/min (Figura 4.5.3).



Figura 4.5.3: Precisión en eje X

Fuente:Autor

El diámetro mecanizado es de 13.11 mm, presentando un desajuste mayor al del eje Z. La precisión del torno se ve afectada por diferentes aspectos, uno de ellos y el más importante es el juego del carro transversal, al desensamblar el torno en la inspección de la máquina se evidenció el estado del rodamiento de tuerca sin fin, los rodamientos ya cumplieron con el ciclo de vida útil lo que permite el juego en el carro afectando la precisión del torno, y generando vibraciones en la bancada de la máquina.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La puesta en funcionamiento de la máquina Emco Compact 5 CNC se efectuó satisfactoriamente, las características actuales del torno permiten el mecanizado de materiales blandos como aluminio, teflón, plástico, bronce, aceros con bajo contenido de carbono, entre otros. Con una precisión aceptable, logrando dejar en servicio el torno CNC para el uso de estudiantes y docentes de la Universidad.

El costo total para la actualización tecnología y puesta en funcionamiento de la Emco Compact 5 CNC fueron menores a los presupuestados (Tabla 4.1.1), este valor hace que la automatización de máquinas manuales sea una opción viable para micro y pequeñas empresas que quieren aumentar sus niveles de producción con un presupuesto limitado.

En el diagnóstico se presentaron las fallas y carencias que tenía la Emco Compact 5 CNC, uno de los objetivos de este proyecto fue realizar la puesta en funcionamiento y la actualización tecnológica del sistema de movimiento de los ejes por medio de control numérico. Mientras que al motor del husillo no se le realizaron cambios, conservando la placa de control original a la cual no le funcionaba el encoder, esto disminuye las capacidades de la máquina puesto que el software de control no puede cambiar la velocidad del husillo y hay que hacerlo manualmente sin tener un encoder.

El diseño de la máquina no aumenta en gran medida las características del torno, los componentes electrónicos instalados permiten mejoras a largo plazo en donde se puede aumentar la capacidad del husillo, motores paso a paso o servomotores, los drivers y el

controlador, con esto se aumenta la capacidad de la máquina para mecanizar piezas con mayor dureza, también alarga la vida útil del torno CNC.

Analizando los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en donde se tiene un desajuste en el carro transversal de 0.11 milímetros y en el carro longitudinal de 0.03 milímetros, con las características y falencias actuales del torno, se determina que el desajuste del torno en el carro transversal es debido a varios factores: los rodamientos lineales del eje, los cuales están desgastados, así mismo la correa de este eje presenta fallas al usarse a velocidades por encima de los 250 milímetros por minuto, y hay un desbalance en la medida de la torrera la cual esta inclinada 1.5 milímetros. Mientras que el carro longitudinal presenta un menor desajuste, esto debido a que el rodamiento de este eje no presenta juego y la correa para la transmisión de las poleas es la original.

La documentación para el uso y manejo de la máquina Emco Compact 5 CNC con la actualización tecnológica guían al operario en el nuevo software y los cambios realizados en la máquina evitando daños y fallas, así mismo la documentación asiste al operario si se desconfigura el torno.

5.2. Recomendaciones

Para proyectos futuros se recomienda realizar la actualización tecnológica del motor principal que maneja el husillo y el conder, con el fin de automatizar el sistema eléctrico original que se mantiene de la máquina.

Las correas de la transmisión en el eje X y Z no son comerciales, su fabricación se realiza a partir de una correa dentada paso GT2 con 60 dientes y un espesor de 10mm, se recomienda fabricar como mínimo un par de repuestos.

Los pasos por milímetro en la máquina se calcularon en un valor de 1610, el controlador envía esta cantidad de pulsos al motor paso a paso para recorrer un milímetro en el carro longitudinal o transversal, teniendo una transmisión de poleas relación Z16 (Motor paso a paso) a Z40 (Eje sin fin), aumentando la precisión y velocidad del motor paso a paso, pero disminuyendo la fuerza ejercida sobre la pieza. Para aumentar la fuerza se puede igualar o disminuir la relación de las poleas, aumentando el torque, pero disminuyendo la precisión. Para aumentar la capacidad del motor paso a paso se pueden cambiar estos por servomotores, los cuales mantienen el torque a velocidades altas.

La lámina que soporta el teclado y el ratón se ajusta mediante una perilla de rosca M8, es sostenida por un eje que se encuentra debajo del torno, las manijas se ubican al borde inferior de la maquina lo que dificulta el ajuste y posicionamiento de la lámina de soporte. Con el fin de mejorar la sujeción de las manijas se recomienda introducir una lámina, puede ser en madera de 10 milímetros de espesor debajo del torno.

Una parte importante de la precisión y calibración de una máquina CNC proviene del estado de los rodamientos, estos evitan el juego y mejoran el movimiento, la máquina no ha tenido un cambio de rodamientos desde que se adquirió, estos están desgastados y perjudican los ajustes al momento de mecanizar. Para mejorar la precisión del torno se contempla cambiar los rodamientos más importantes los cuales son: los rodamientos tornillos de bolas lineales para sin fin (eje X y Z), rodamientos de bolas del husillo y los rodamientos de bolas de las poleas.

El mandril del torno Emco Compact 5 CNC presenta oxidación, debido a el tipo de material de construcción y puede haber sido expuesto a líquidos que oxidaran el mecanismo. lo que dificulta ajustar piezas. Es recomendable cambiar el Mandril teniendo en cuenta el sistema de sujeción al husillo.

Bibliografía

- [1] Technical Documentation Emco. *Operating Instruction EMCO Compact 5 PC*. EMCO Edition 90-7, 1990.
- [2] A V Frolov. Pipe welding machine modernization. 2021. acceso: 22/Febrero/2022.
- [3] Ahmed Hassaam. Design and fabrication of matlab based solar powered cnc machine. 2017. acceso: 22/Febrero/2022.
- [4] Jean Shilpa. Design and implementation of three-axis cost efficient cnc pvc milling machine. 2018. acceso: 22/Febrero/2022.
- [5] Ekkachai Kittipong. Design and development of an open architecture cnc controller for milling machine retrofitting. 2009. acceso: 22/Febrero/2022.
- [6] Nancy Rastogi. Design and implement an economical automatic cnc wood lathe machine. 2021. acceso: 22/Febrero/2022.
- [7] Natalia Giraldo Aguirre. Impacto de las tecnologías de control numérico computarizado en la industria nacional. 2005. acceso: 22/Febrero/2022.
- [8] Jose Muriel Escobar. Adecuación tecnológica de un torno compact 5 cnc a través de un pc. 2010. acceso: 22/Febrero/2022.
- [9] Fuentes Andrade Alberto Oscar. Manual de prácticas para un torno de control numérico (cnc) del taller de mecánica. 2012. acceso: 15/Febrero/2023.
- [10] Euskal Herriko Unibertsitatea Universidad. Tecnologías de fabricación y tecnología de máquinas. 2022. acceso: 22/Febrero/2023.
- [11] Labs Silicon. Stepper motor reference desing. 2022. acceso: 15/Febrero/2023.
- [12] Flores Paul Caceres Danny. Diseño y montaje de fuente conmutada para alimentación de converidor multinivel. 2013. acceso: 15/Febrero/2023.
- [13] Viloría Gregorio Rueda David. Diseño y simulación de automatización de un torno convencional a cnc en la universidad antonio nariño sede puerto colombia. 2020. acceso: 15/Febrero/2023.
- [14] Bavaresco Guillermo. Torno. 2020. acceso: 15/Febrero/2023.
- [15] Spec Global. Stepper motor calculations. 2023. acceso: 25/Marzo/2023.
- [16] ArtSoft Newfangled. Mach3 usb motion card (bsmceo4u-pp) installation manual. 2020. acceso: 15/Marzo/2023.

- [17] Siemens. Sinumerik 808. 2020. acceso: 15/Marzo/2023.
- [18] ArtSoft Newfangled. Mach3. 2023. acceso: 15/Marzo/2023.
- [19] Juan José Peters. Introducción al control numérico computarizado (cnc). 2018. acceso: 15/Marzo/2023.
- [20] Demaquinas y herramientas. Introducción a la tecnología cnc. 2015. acceso: 20/Marzo/2023.
- [21] Alexander Sanchez agredo. Elaboración de plan de mantenimiento para fresadora mfg de 3 ejes del laboratorio de mecatrónica universidad eafit. 2012. acceso: 26/Mayo/2023.

Apéndice A

Anexo: Diagnóstico



Figura A.0.1: Tablero Emco Compact
Fuente: Autor



Figura A.0.2: . Interruptor
Fuente: Autor



Figura A.0.3: . Conexion Llave
Fuente: Autor



Figura A.0.4: . Llave Para Arrancar
Fuente: Autor



Figura A.0.5: . Motor de Husillo
Fuente: Autor



Figura A.0.6: . Display
Fuente: Autor



Figura A.0.7: . Motores paso a paso
Fuente: Autor



Figura A.0.8: . Rotor Motor Emco Compact 5
Fuente: Autor



Figura A.0.9: . Tablero Desensamblado
Fuente: Autor



Figura A.0.10: . Bancada Emco
Fuente: Autor

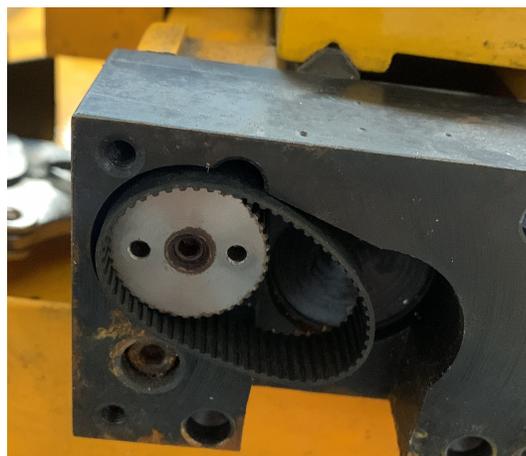


Figura A.0.11: . Transmisión Motor X
Fuente: Autor



Figura A.0.12: . Correa
Fuente: Autor



Figura A.0.13: . Transmisión eje Z
Fuente: Autor



Figura A.0.14: . Torreta Emco
Fuente: Autor



Figura A.0.15: . Mecanismo de torrera con seguro
Fuente: Autor



Figura A.0.16: . Transmisión Emco Compact 5 Husillo
Fuente: Autor



Figura A.0.17: . Transmisión Motor
Fuente: Autor



Figura A.0.18: . Electrónica Emco

Fuente: Autor

Apéndice B

Anexo: Transmisión del husillo

Speed [rpm]	Belt position
200	BC1
330	BC2
550	BC3
950	AC1
1500	AC2
2400	AC3

Figura B.0.1: Tabla de Velocidades del Husillo
Fuente:Emco, 1990, Operation Instruction Emco Compact 5

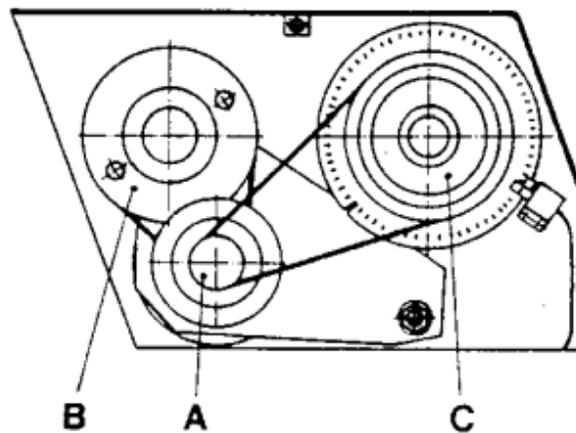


Figura B.0.2: Sistema de Poleas
Fuente:Emco, 1990, Operation Instruction Emco Compact 5

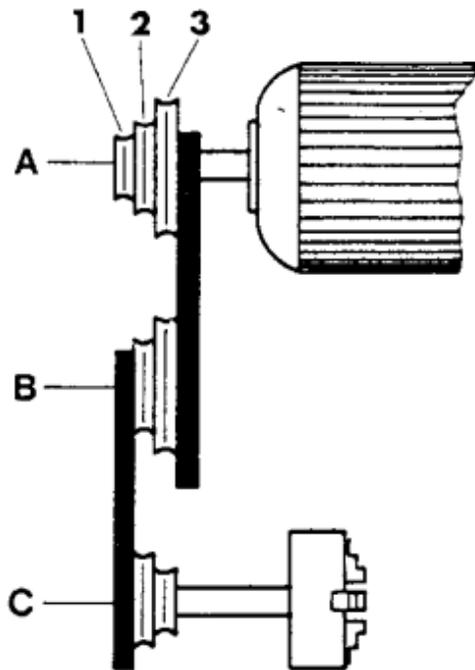
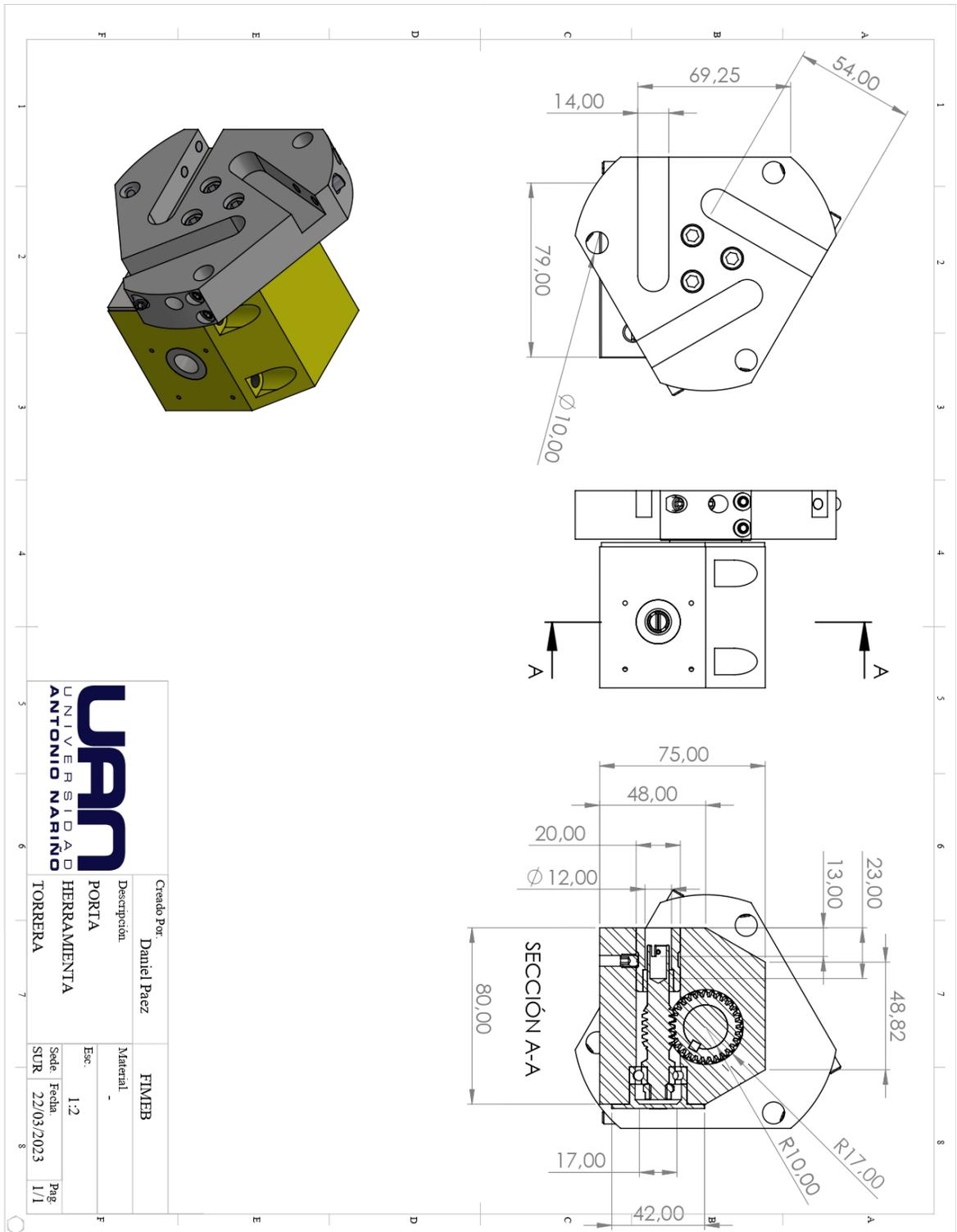


Figura B.0.3: Transmisión de poleas de Husillo
Fuente:Emco, 1990, Operation Instruction Emco Compact 5

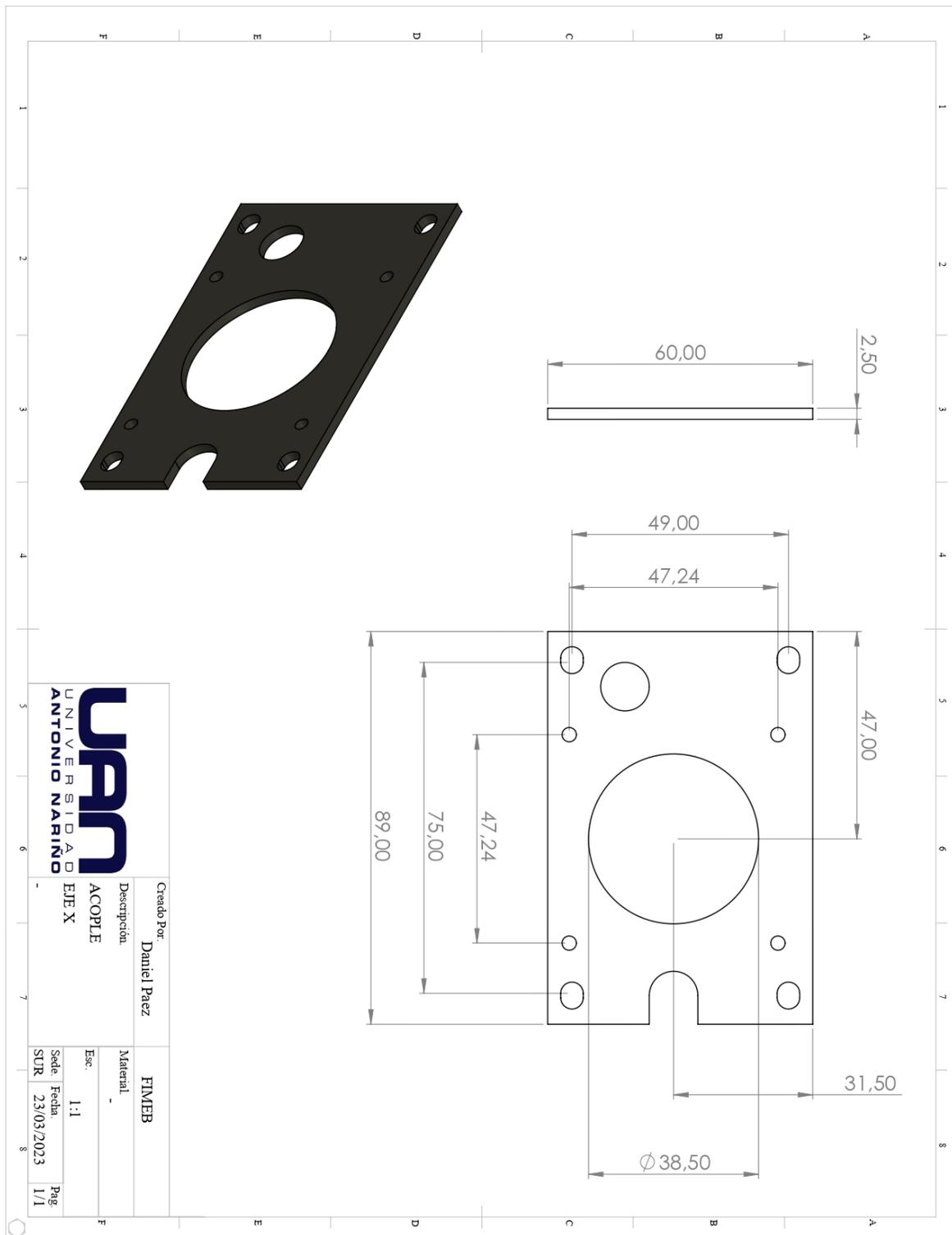
Apéndice C

Anexo: Planos Mecánicos



Uran UNIVERSIDAD ANTONIO NARINHO		Creado Por Daniel Paez	FIMEB
Descripción PORTA HERRAMIENTA TORRERA		Material -	
Esc. 1:2		Sede SCR	Pag. 1/1
Fecha. 22/03/2023			

Figura C.0.1: Porta Herramienta plano
Fuente: Autor



 UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		Creado Por Daniel Paez	Material FIMEB
Descripción ACOPLE EJE X		Esc. 1:1	Sede SCR
Fecha. 23/03/2023		Pag. 1/1	

Figura C.0.2: Acople Eje X
Fuente: Autor

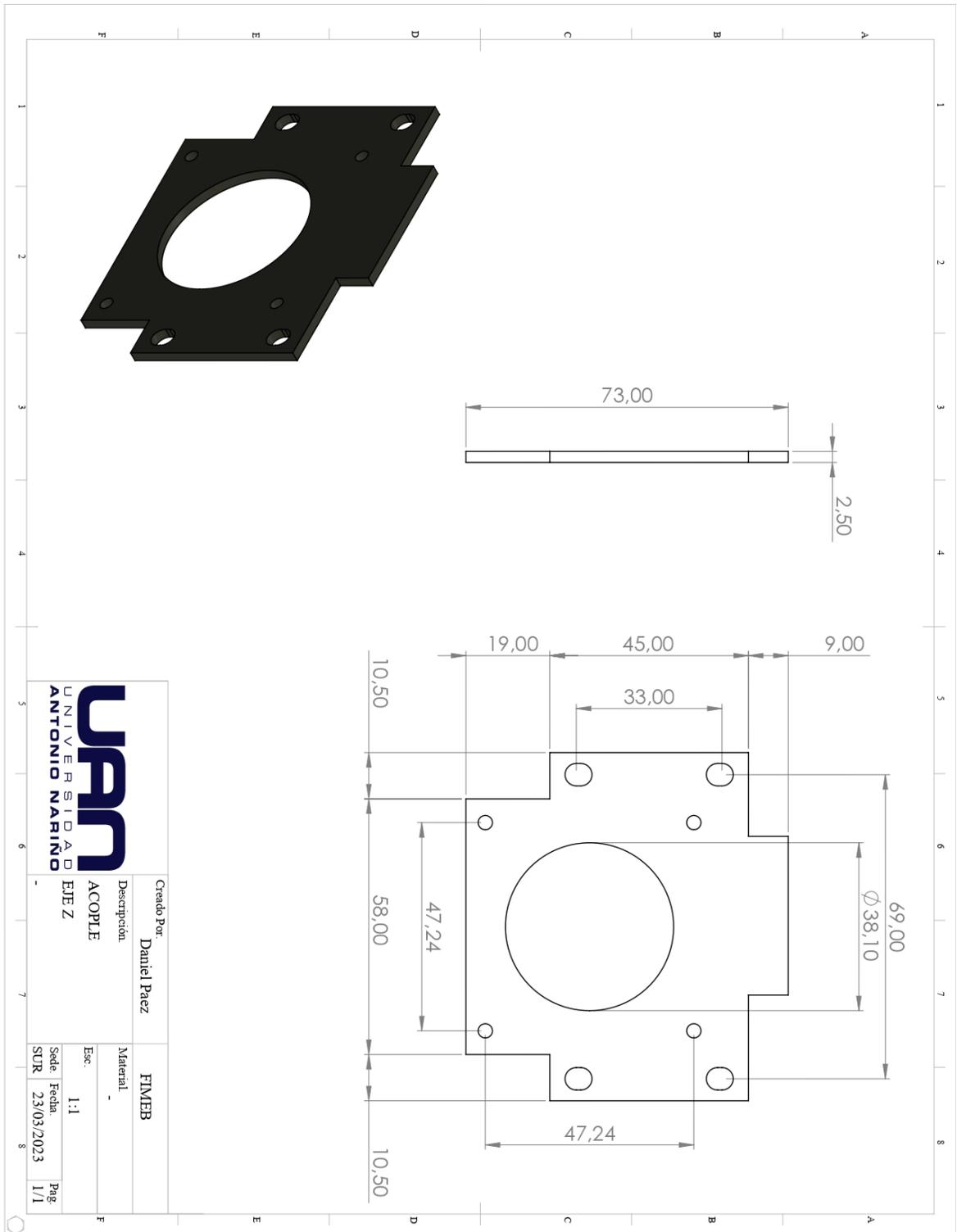
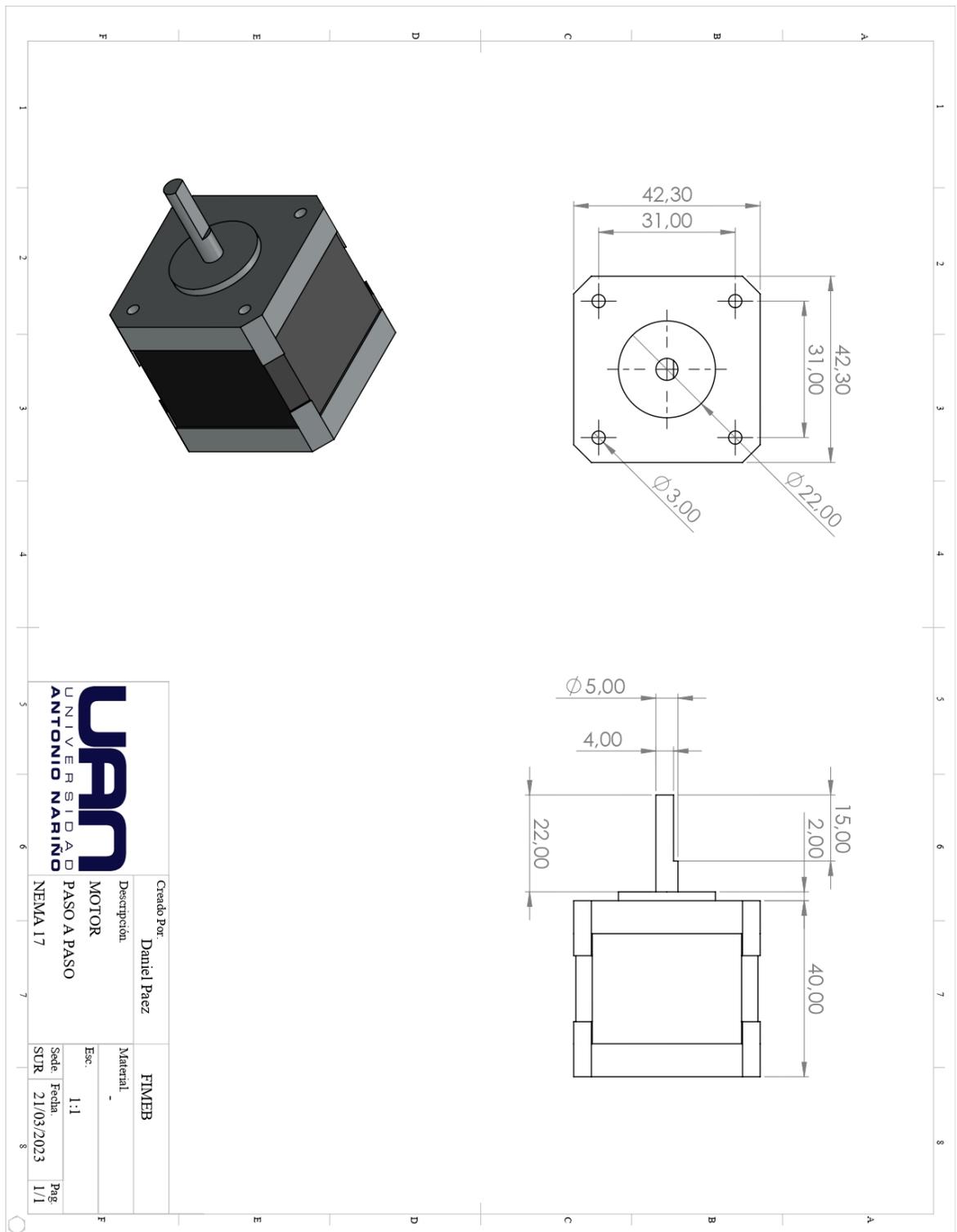
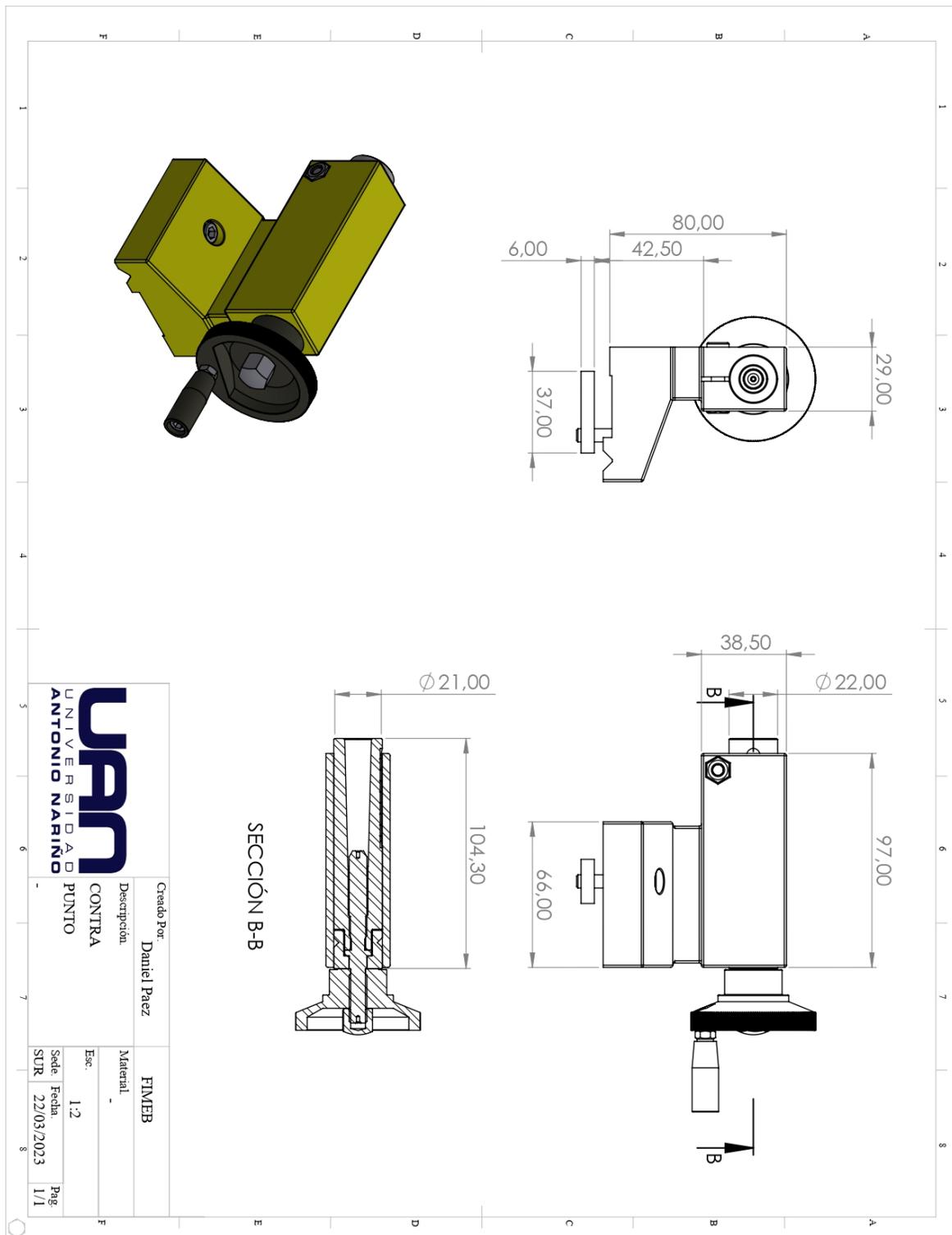


Figura C.0.3: Acople Eje Z
Fuente: Autor



UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		Creado Por Daniel Paez	MATERIAL FIMEB
Descripción MOTOR PASO A PASO NEMA 17			Esc. 1:1
		Sede SCR	Fecha 21/03/2023
			Pag. 1/1

Figura C.0.4: Motor paso a paso Nema 17
Fuente: Autor



 UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		Creado Por Daniel Paez	Material FIMEB
Descripción CONTRA PUNTO		Esc. 1:2	Sede SCR
		Fecha. 22/03/2023	Pag. 1/1

Figura C.0.6: Contra Punto plano
 Fuente: Autor

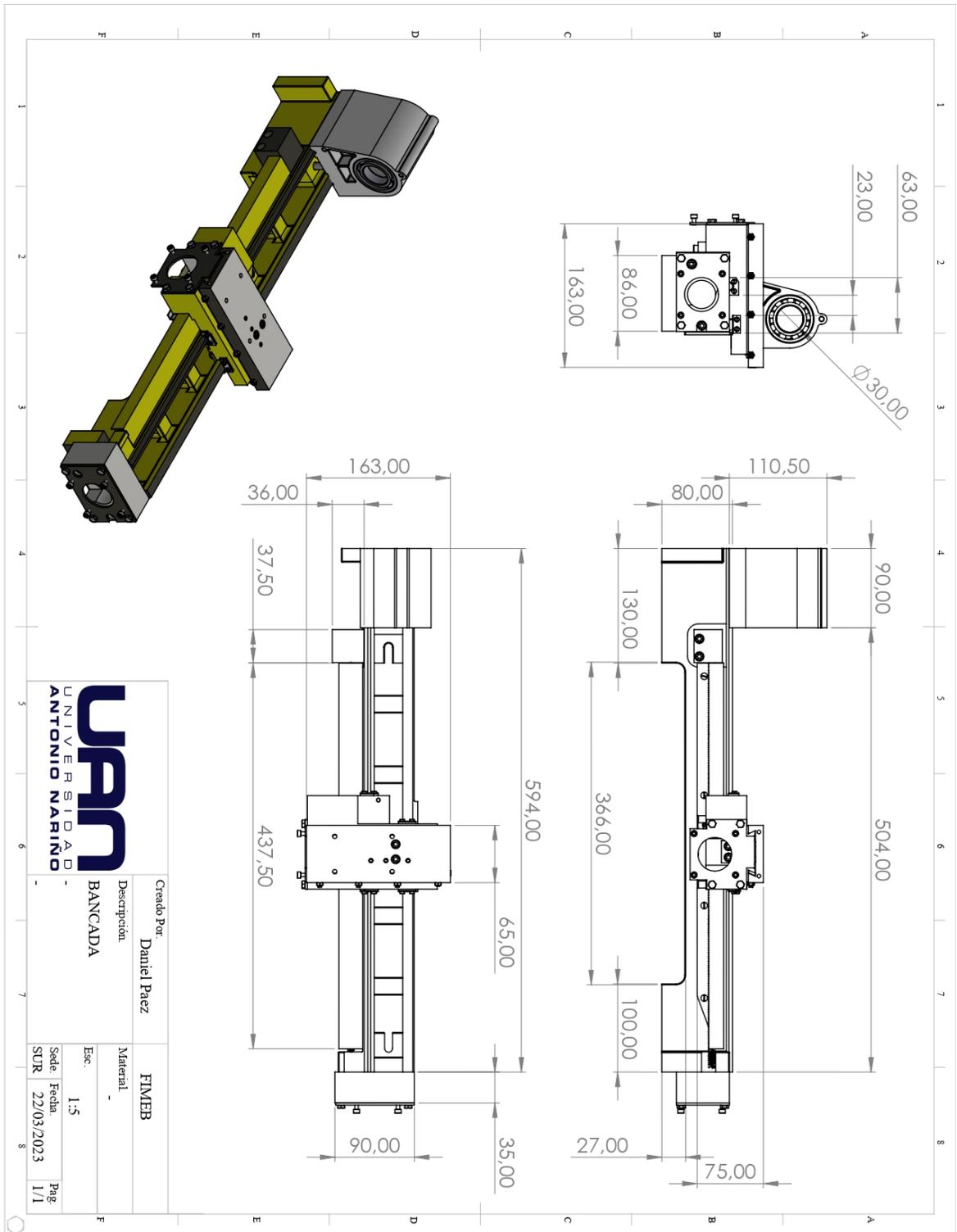


Figura C.0.7: Bancada plano

Fuente: Autor

Apéndice D

Anexo: Diagramas Electrónica

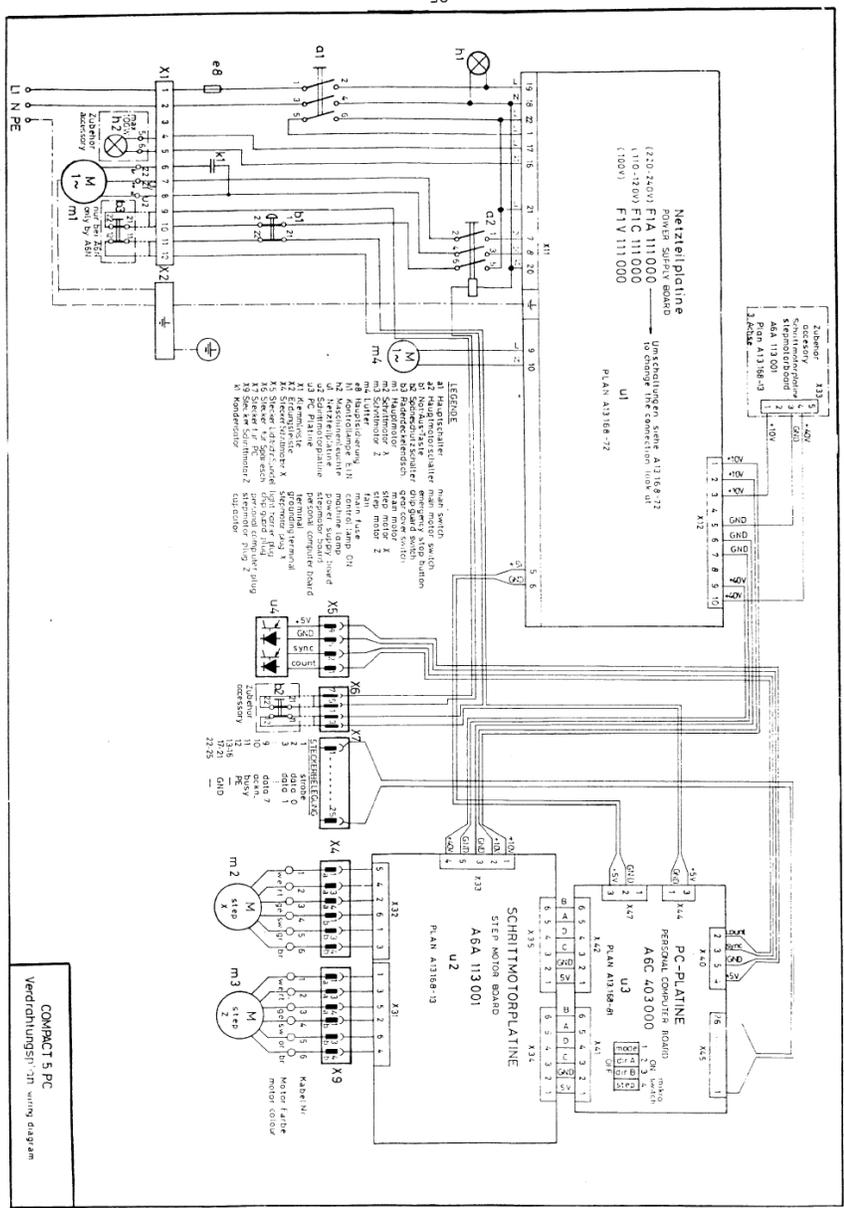


Figura D.0.2: Diagrama Eléctrico Emco Compact 5 CNC
 Fuente:Emco, 1990, Operation Instruction Emco Compact 5