

TECNOLOGICO DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE COACALCO

FRESAMON: CNC
PARA FRESADO DE ALUMINIO

PROYECTO DE INVESTIGACION
PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniería en Mecatrónica con
especialidad en Automatización de
Procesos

Presenta(n)

Angelica Jazmin Arreola Molina

No. De Matricula: 201721166

Leonardo Daniel Morales Mosqueda

No. De Matricula: 201820969

Asesor:

Ernesto García González

Coacalco de Berriozábal, Septiembre/2024

RESUMEN

El desafío de desarrollar una máquina CNC multifuncional con cambio de herramienta es un proyecto de ingeniería de precisión, orientado hacia la escalabilidad y la adaptabilidad. Inicialmente se concibe para cumplir con la tarea de perforar PCB con exactitud, esta máquina evolucionará con el tiempo para asumir funciones adicionales, incluyendo la impresión 3D y el fresado de aluminio.

El diseño se realizó con un enfoque adaptativo en mente, permitiendo la incorporación fluida de nuevas herramientas y capacidades a futuro. La versatilidad es una consideración primordial al seleccionar componentes y establecer la estructura mecánica. Esto implica la selección de actuadores, sistemas de sujeción y algoritmos de control coordinado.

Los componentes se eligieron en función de su capacidad para adaptarse a diversas funciones. Los motores y drivers debían ofrecer precisión y respuesta controlada en múltiples contextos, desde las perforaciones en PCB hasta las operaciones de fresado de aluminio.

Los sistemas de guías lineales y husillos fueron dimensionados para soportar tanto las velocidades más bajas necesarias para la precisión en PCB como las mayores velocidades requeridas para el fresado de materiales más densos.

Perforación en PCB: Se optimizan los movimientos y velocidades para realizar perforaciones precisas en PCB, siguiendo coordenadas específicas.

Se espera que a medida que cada función sea dominada y la adaptabilidad sea consolidada, la máquina se transforma de una simple perforadora de PCB a un dispositivo multifacético que ejemplifica la fusión de la ingeniería y la tecnología.

ÍNDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO	7
INTRODUCCIÓN	8
PROBLEMA A RESOLVER	9
OBJETIVOS	9
JUSTIFICACIÓN	10
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	11
Antecedentes Históricos de las Máquinas CNC.....	12
Placas PCB	22
Control Numérico (CN).....	24
El código G.....	32
Robótica	33
CAPÍTULO III DESARROLLO.....	35
Listado de Materiales:.....	42
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	53
CONCLUSIONES	57
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	60
ANEXOS	63
Materiales para emplear	64

ÍNDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1 Cinta de Baudot (1950), Luis Daniel Arzola	13
Ilustración 2 Lector de cinta de papel en un control CNC (1960), Luis Daniel Arzola.....	13
Ilustración 3Integración de los sistemas CAD (1980), Formacad.....	15
Ilustración 4 CNC moderna (1990-hoy en día), Luis Daniel Arzola	15
Ilustración 6: Cuarta Revolución Industrial, José Dueñas, 2023	16
Ilustración 7: Tercera Revolución Industrial, Rafael Pampillón ,2012	17
Ilustración 8: Mecanizado, UMESAL, 2020	18
Ilustración 9: Fresadora Convencional, Fresadora.eu ,2023.....	21
Ilustración 10: SolidWorks, Leonardo M. Y Angelica A., 2023	22
Ilustración 11: Placa PCB, Electrosoft ingeniería,2010	23
Ilustración 12: Fabricación de PCB, ZhongFeng Electronic Technology Co, 2023	24
Ilustración 13: Torno CNC, SIDECO,2023	26
Ilustración 14: Control punto a punto, BirtLH, fecha desconocidos	28
Ilustración 15: Control Paraxial, BirtLH, Fecha Desconocidos	28
Ilustración 16: control continuo, BirtLH, fecha desconocidos	28
Ilustración 17: CNC, Juan José Peters, 2018.....	29
Ilustración 18: GENMITSU CNC ROUTER 3018-PRO DIY KIT, Sain smart, 2023.....	30
Ilustración 19: SHAPEOKO 4, Carbide 3D 2023	30
Ilustración 20: ROUTER ER-023, ECUT, 2023.....	31
Ilustración 21: SNAPMAKER A350T, B & H Foto & Electronics Corp, 2023	31
Ilustración 22: Robótica Juan F. Samaniego, 2023.....	33
Ilustración 23:Primer Robot Industrial (1984), robotsinactio	34
Ilustración 24: Estructura Inicial, Leonardo M. y Angelica A., 2023	36
Ilustración 25: Diseño Inicial De Nuestro Robot Autoría Propia.....	37
Ilustración 26: Estructura En Base Al Prototipo, Leonardo M. y Angelica A., 2023	38
Ilustración 27: Motor nema 17, Maximiliano Santillán, 2012	42
Ilustración 28: acople flexible, Maximiliano Santillán, 2012.....	42
Ilustración 29: KP08, Andrey Nesterov, 2016	42
Ilustración 30: Jumper, autor desconocido, 2016.....	43
Ilustración 31: Tornillo sin fin, autor desconocido, 2015.....	43
Ilustración 32: Drivers A4988, Vicente García, 2020	43
Ilustración 33: ARDUINO UNO, Jorge Alberto Gutiérrez Canales, 2015	43
Ilustración 34: Fuente conmutada, UNIT ELECTRONICS, 2021	44
Ilustración 35: Tornillos, 2023, Desconocido	44
Ilustración 36: Placas de aluminio, 2023, Desconocido	44
Ilustración 37: Soleras, 2023, Desconocido	44
Ilustración 38: Pasta térmica, 2023, Desconocido	45
Ilustración 39: Taladro, 2023, Desconocido.....	45
Ilustración 40: Baleros de goma, 2023, Desconocido	45
Ilustración 41:Reestructuración de Robot (fuentes propias),2023	46
Ilustración 42: Diagrama de conexión de Drivers a Arduino UNO (Autor Desconocido),2023	47

Ilustración 43: Conexión y revisión de motores Nema 17(Fuentes Propias),2023.....	48
Ilustración 44: Conexión y revisión de motores Nema 23(Fuentes Propias),2023.....	48
Ilustración 45: Código en programa Arduino (Captura de Autoría Propia),2023	49
Ilustración 46: Primer prueba del prototipo en función (Fuentes Propias),2023.....	55
Ilustración 47: Prueba final del prototipo en función (Fuentes Propias),2023.....	56
Ilustración 48: Estructura deseada (Fuentes Propias),2023	56
Ilustración 49: animación de estructura deseada (Fuentes Propias),2023.....	57
Ilustración 50: Arduino 1, autor desconocido, 2018	64
Ilustración 51: esquemática del Arduino 1, aprendiendo Arduino, 2017.....	65
Ilustración 52: CNC shield, Aelectrics , 2023	67
Ilustración 53: esquemática CNC shield para Arduino 1, inngtecviarduino, 2017	67
Ilustración 54: Drivers A4988, Vicente García, 2020.....	68
Ilustración 55: esquemático Drivers A4988, Vicente García, 2020	69
Ilustración 56: Moto tool Yosoo, Amazon, 2023.....	71
Ilustración 57: Motor nema 17, Autor Desconocido, 2023.....	72
Ilustración 58: Medidas motor nema 17, hta3d , 2020	72
Ilustración 59: KP08, UNIT electrics., 2023	74
Ilustración 60: plano KP08 , Naylamp Mechatronics SAC., 2023	74
Ilustración 61: SK8, Naylamp Mechatronics SAC., 2023	75
Ilustración 62: SK8 , Naylamp Mechatronics SAC., 2023	76
Ilustración 63: SK8, Thiago Santos, 2018	76
Ilustración 64: SC8UU, Naylamp Mechatronics SAC., 2023	78
Ilustración 65: SC8UU, Naylamp Mechatronics SAC., 2023	78
Ilustración 66: SC8UU, Thiago Santos, 2018	79
Ilustración 67: Guía lineal, Naylamp Mechatronics SAC., 2023	80
Ilustración 68: Perfil de aluminio 20x20mm, autor desconocido, 2020	82
Ilustración 69: Plano perfil de aluminio, Bosch Rexroth, 2020	82
Ilustración 70: planos perfil de aluminio, Bosch Rexroth, 2020	82
Ilustración 71: Fuente de voltaje 12v a 10 ^a , Zamux Electrónica, 2023	83
Ilustración 72: Acople flexible, Electrónica THIDO, 2021.....	84
Ilustración 73: plano acople flexible, ELECTRONILAB, 2023	84
Ilustración 74: Plano tornillo ACME y tuerca t8, UNITELECTRICS, 2023	85
Ilustración 75: tabla de estándares para rosca acmé, autor desconocido, 2023	86
Ilustración 76: tornillería utilizada, autor desconocido,2023	87
Ilustración 77: Plano de ensamble de robot CNC, Leonardo M. y Angelica A., 2023	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Código G	50
Tabla 2 Código G	51
Tabla 3: Codigo M.....	52
Tabla 4 especificaciones de CNC Shield	66
Tabla 5 características de Driver A4988.....	68
Tabla 6: Características del Moto Tool.....	70
Tabla 7: Características de motores nema 17.....	71

CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

En el ámbito académico, la ingeniería mecatrónica desempeña un papel fundamental al integrar conocimientos de mecánica, electrónica y computación para formar profesionales altamente capacitados. Para enriquecer la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, es esencial proporcionarles herramientas y equipos avanzados que les permitan desarrollar habilidades prácticas de manera efectiva.

Se enfoca en el diseño y construcción de una máquina de control numérico (CNC) destinada al perforado de placas de circuito impreso (PCB). Esta iniciativa beneficiará directamente a los estudiantes de ingeniería mecatrónica del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco al proporcionarles una herramienta valiosa para sus proyectos y tareas de investigación.

La implementación de esta máquina CNC no solo mejorará la calidad de la educación en ingeniería mecatrónica dentro de nuestra institución, sino que también equipará a nuestros estudiantes con tecnología de vanguardia, preparándolos mejor para enfrentar los desafíos industriales y fomentando su pasión por la innovación y la excelencia en ingeniería.

El diseño de la máquina CNC se centrará en ser asequible, precisa y fácil de usar, considerando aspectos clave como la seguridad, la ergonomía y la eficiencia. Esto permitirá a los estudiantes concentrarse plenamente en sus proyectos y experimentos sin preocupaciones técnicas.

Además de ser una herramienta práctica para los estudiantes, esta máquina CNC servirá como plataforma de investigación tanto para profesores como para estudiantes de posgrado. Su diseño modular y capacidad de expansión facilitarán futuras mejoras y modificaciones, promoviendo la innovación continua y la colaboración en el campo de la ingeniería mecatrónica.

En resumen, este prototipo aspira a desarrollar una máquina CNC adaptable y robusta que no solo satisfaga las necesidades educativas de nuestros estudiantes, sino que también impulse la investigación y el desarrollo tecnológico en nuestro departamento de ingeniería mecatrónica.

PROBLEMA A RESOLVER

El proceso actual de fabricación de placas de circuito impreso (PCB) en la carrera de Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco enfrenta desafíos significativos que afectan la precisión y eficiencia requeridas para proyectos avanzados de investigación y desarrollo tecnológico. Las técnicas tradicionales de perforado manual o semiautomático de PCBs no cumplen completamente con los estándares de precisión exigidos.

Estas limitaciones se manifiestan en tiempos prolongados de fabricación, falta de uniformidad en las dimensiones de los orificios y dificultades para manejar diseños complejos y personalizados de PCBs. Dichos problemas no solo comprometen la calidad final de los productos, sino que también restringen la capacidad del departamento para realizar investigaciones innovadoras que dependen de prototipos electrónicos precisos y confiables.

Por lo tanto, es imperativo desarrollar una máquina de control numérico computarizado (CNC) especializada en el perforado de placas PCB. Esta CNC está diseñada para mejorar la precisión, uniformidad y eficiencia del proceso de fabricación. Al optimizar los tiempos de producción, esta tecnología facilitará la creación de PCBs con diseños complejos y personalizados, satisfaciendo así las demandas crecientes de proyectos tecnológicos avanzados dentro del departamento.

El objetivo principal no solo es elevar las capacidades tecnológicas del departamento, sino también consolidar su liderazgo en la investigación en ingeniería mecatrónica y tecnología electrónica. La implementación de esta CNC no solo beneficiará directamente a los estudiantes y académicos al mejorar las condiciones de enseñanza y aprendizaje, sino que también posicionará a la institución en la vanguardia de la innovación tecnológica dentro del campo de la ingeniería mecatrónica.

OBJETIVOS

Objetivo general

Utilizar la tecnología CNC junto con un taladro de mano para PCBs con el fin de mejorar la calidad, precisión, eficiencia y consistencia en el proceso de fabricación de placas de circuito impreso a través de un código G programado antes de colocar la placa a la máquina y así obtener un trabajo preciso y reduciendo los márgenes de error humano posibles

Objetivos específicos

- Diseñar la estructura mecánica de la máquina de perforación
- Desarrollar la programación de control
- Implementar la estructura mecánica de la guía de perforación
- Implementar el sistema de control de la perforadora
- Realizar pruebas para evaluar la precisión, repetibilidad y estabilidad en la perforación del PCB
- Seleccionar los materiales y componentes adecuados para la generación del dispositivo

JUSTIFICACIÓN

La elaboración de una maquinaria de Control Numérico para la perforación precisa de placas de circuito impreso (PCB) a pequeña escala se fundamenta en las siguientes razones:

- La perforación exacta de los orificios en las placas PCB es crucial para garantizar la correcta inserción y conexión de los componentes electrónicos.
- La automatización de este permite acelerar el proceso y aumentar la productividad. Ejecutando los movimientos de manera más rápida y constante que un operador humano, reduciendo así los tiempos de fabricación y mejorando la eficiencia del proceso.
- Los taladros eléctricos de precisión utilizados en la industria pueden ser costosos y estar fuera del alcance de la comunidad estudiantil, dando paso a una alternativa más económica y accesible, sin sacrificar la precisión y calidad en la perforación.
- Programar para adaptarse a diferentes diseños de placas y tamaños de orificios. Esto brinda una mayor flexibilidad y versatilidad en el trabajo, permitiendo a los usuarios personalizar y adaptar el proceso según sus necesidades específicas.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

Antecedentes Históricos de las Máquinas CNC

Década de 1940

Los antecedentes de las máquinas CNC se remontan a la Segunda Guerra Mundial. Durante este período, la necesidad de producir piezas precisas y complejas para aviones y armamento impulsó la búsqueda de métodos más eficientes. En este contexto, se desarrollaron los primeros sistemas de control numérico rudimentarios. Estos sistemas utilizaban tarjetas perforadas para proporcionar instrucciones a las máquinas. Cada tarjeta representaba un comando específico, y las máquinas leían estas tarjetas para realizar operaciones de mecanizado como taladrar agujeros o cortar formas específicas. Aunque limitados en su capacidad y flexibilidad, estos sistemas allanaron el camino para la automatización en la fabricación.

Década de 1950

El gran avance en los antecedentes de las máquinas CNC se produjo en la década de 1950, cuando se conectaron las máquinas herramienta con las computadoras. El Massachusetts Institute of Technology (MIT) desempeñó un papel fundamental al desarrollar el primer sistema de control numérico que utilizaba una computadora IBM. Esta innovación permitió un enfoque más versátil para la programación de operaciones de mecanizado. En lugar de depender únicamente de tarjetas perforadas, ahora era posible proporcionar instrucciones más detalladas y complejas a través de la programación en computadoras. Esto marcó el nacimiento de la tecnología CNC.

Década de 1960

En los años 60, los sistemas de control numérico evolucionaron aún más. Se introdujeron sistemas que utilizaban cintas perforadas para cargar programas de mecanizado (ver Ilustración 1). Estos sistemas mejoraron significativamente la velocidad y la eficiencia de la programación en comparación con las tarjetas perforadas. Al mismo tiempo, las interfaces gráficas comenzaron a emerger. Estas interfaces permitían a los operadores visualizar los procesos de mecanizado en pantallas CRT (ver Ilustración 2), lo que facilitaba la supervisión y el ajuste de las operaciones. Esta década también vio la introducción de los primeros sistemas de interpolación, que permitían movimientos suaves y coordinados de las herramientas de corte en múltiples ejes.



Ilustración 1 Cinta de Baudot (1950), Luis Daniel Arzola



Ilustración 2 Lector de cinta de papel en un control CNC (1960), Luis Daniel Arzola

Década de 1970

En esos años el desarrollo de microprocesadores más pequeños y potentes tal y como se ve en la Ilustración 3, cambió por completo el panorama de las máquinas CNC. Estos microprocesadores permitieron un mayor nivel de automatización y control en las operaciones de mecanizado. Las máquinas CNC se volvieron más accesibles y rentables

para una gama más amplia de industrias. La automatización industrial ganó impulso, ya que estas máquinas podían trabajar durante largos períodos sin intervención humana, lo que mejoró la eficiencia de la producción.

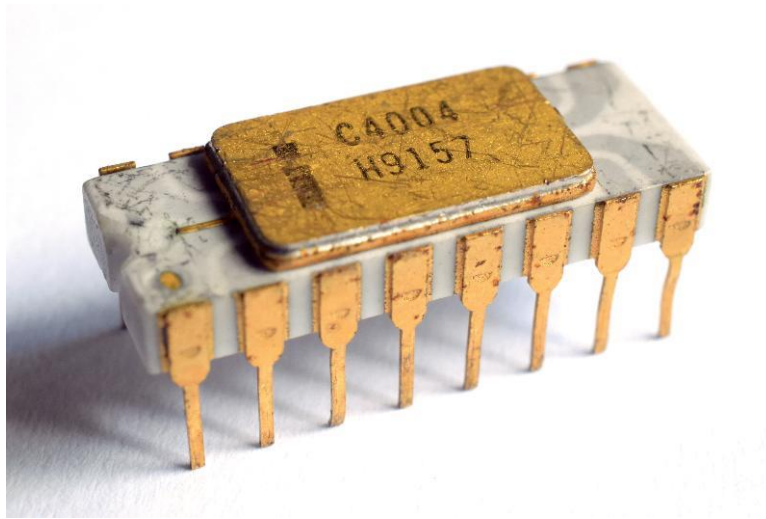


Ilustración 3: primer microcontrolador (1970), Miguel A. C.

Década de 1980

Dicha época presenció avances significativos en la tecnología CNC. La integración de sistemas CAD/CAM permitió una programación más intuitiva y precisa de las máquinas. Los operadores podían diseñar piezas en computadoras y luego transferir los diseños directamente a las máquinas CNC como se muestra en la Ilustración 4. Esto mejoró enormemente la precisión y la calidad de las piezas producidas. Los sistemas de interpolación se volvieron más avanzados, permitiendo movimientos más complejos y suaves en múltiples ejes. La conectividad y la comunicación entre sistemas también avanzaron, lo que allanó el camino para la futura interconexión de máquinas y sistemas industriales.

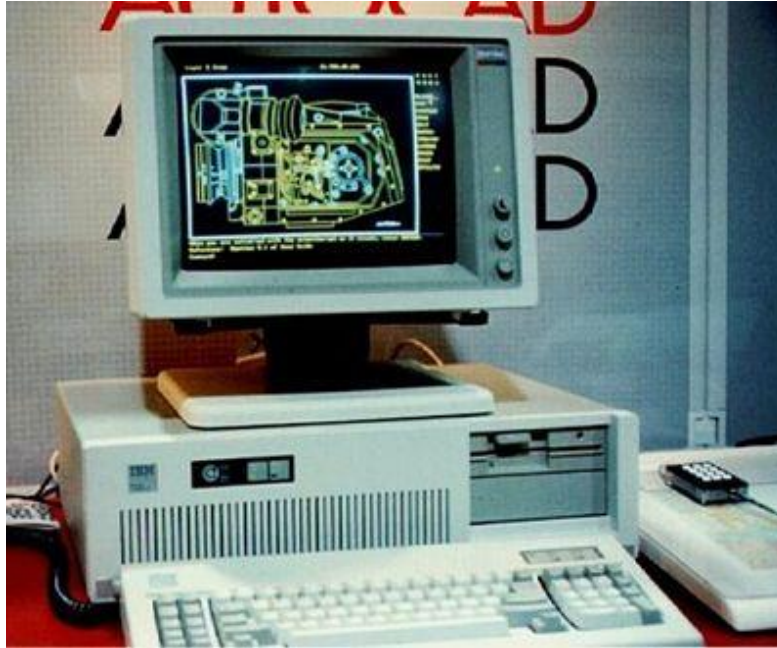


Ilustración 3 Integración de los sistemas CAD (1980), Formacad

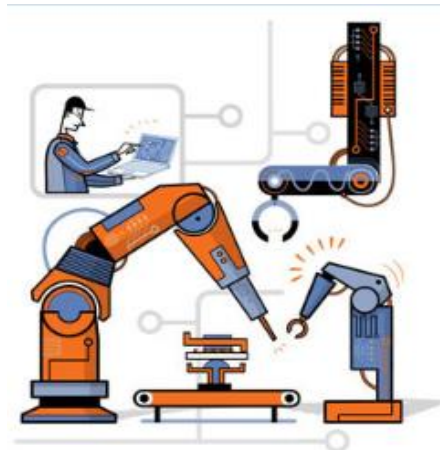
Década de 1990 hasta la Actualidad

A medida que avanzaban las décadas, las máquinas CNC continuaron mejorando en términos de precisión, velocidad y versatilidad. La década de 1990 marcó la integración más profunda de sistemas informáticos en las operaciones de mecanizado. Las máquinas CNC se volvieron más inteligentes, capaces de realizar ajustes automáticos como se aprecia en la Ilustración 4 según las condiciones de corte y las herramientas utilizadas. La llegada de la Industria 4.0 y la digitalización de la fabricación impulsaron la evolución de máquinas CNC conectadas. Ahora, estas máquinas pueden comunicarse entre sí y con sistemas de gestión, permitiendo un control centralizado y una optimización en tiempo real de las operaciones de fabricación.



Ilustración 4 CNC moderna (1990-hoy en día), Luis Daniel Arzola

En resumen, cada revolución industrial ha contribuido al desarrollo y avance de las máquinas CNC. Desde establecer la necesidad de precisión y producción eficiente hasta la introducción de la electrónica y la informática (Ver Ilustración 7), y finalmente la integración de tecnologías avanzadas en la Industria 4.0, todas estas eras han desempeñado un papel en transformar las máquinas CNC en herramientas esenciales para la fabricación moderna.



*Ilustración 7: Tercera Revolución Industrial,
Rafael Pampillón, 2012*

Mecanizado

Para esta investigación es necesario definir lo que es el mecanizado y la relación que este tiene con las máquinas CNC. Tomando como referencia a Manuel Sánchez Carrilero y Mariano Marcos Bárcena, ellos definen el mecanizado como: someter a una pieza inicial o cualquier otro elemento a un arranque de material para darle forma y dimensiones deseadas.

Partiendo de que la CNC es una máquina moderna podemos intuir que esta ha transformado el proceso de mecanizado al introducir la automatización y la programación computarizada en lugar del control manual. Esta tecnología ha mejorado la precisión, la velocidad y la eficiencia en la fabricación de piezas, permitiendo la producción de componentes complejos y la estandarización en la fabricación en serie como se muestra en la Ilustración 8.

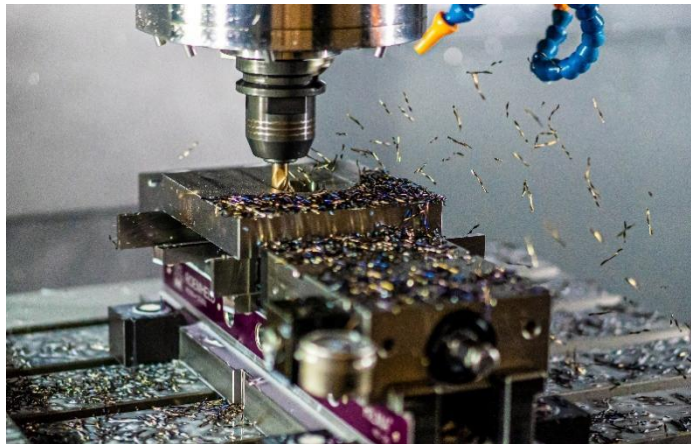


Ilustración 8: Mecanizado, UMESAL, 2020

A continuación, se presentarán los ámbitos en los que la CNC impacto al mecanizado.

La CNC permite la automatización de los procesos de mecanizado. En lugar de depender de la intervención manual constante, la CNC controla automáticamente la maquinaria según las instrucciones programadas. Esto conduce a una mayor precisión y consistencia en las operaciones de mecanizado.

En el mecanizado tradicional, un operador debe guiar manualmente las herramientas para realizar cortes precisos. Con la CNC, en cambio, se crea un programa en un software que describe los movimientos y acciones exactos que la máquina debe realizar. Esta programación incluye detalles como la ruta de la herramienta, la velocidad de corte y la profundidad de corte.

La CNC permite realizar una amplia variedad de operaciones de mecanizado en una sola máquina. Mediante la carga de diferentes programas, es posible cambiar rápidamente de un tipo de corte a otro, lo que hace que la producción sea más flexible y eficiente.

La CNC es especialmente útil para fabricar piezas complejas. Al programar la máquina para seguir rutas precisas, se pueden lograr formas detalladas y características difíciles de producir manualmente.

El uso de la CNC minimiza la influencia de errores humanos en el proceso de mecanizado. La máquina sigue las instrucciones programadas de manera exacta, lo que reduce la posibilidad de equivocaciones y defectos en las piezas.

La CNC permite producir piezas idénticas con alta precisión una y otra vez. Esto es esencial para la producción en serie, donde se requieren numerosas piezas idénticas.

Para los trabajos de mecanizado se utilizan algunas herramientas específicas esto dependerá del tipo de trabajo que se tenga que hacer aquí se mencionarán algunas de estas herramientas

Herramientas de corte: se emplean para dar forma a una pieza mediante cortes precisos.

Herramientas de perforación: dispositivos giratorios que crean agujeros en línea con su eje de rotación.

Herramientas de molienda: Estas herramientas incluyen ruedas giratorias que permiten lograr acabados suaves en las superficies de las piezas o hacer cortes suaves.

Herramientas de fresado: Están compuestas por una herramienta rotativa con múltiples hojas afiladas, utilizadas para cortar, desgastar superficies o crear diseños en los materiales. (Esteban, 2019) Herramientas de torneado: Este tipo de herramientas hacen girar la pieza de trabajo en torno a su propio eje mientras una herramienta de corte la moldea para obtener la forma deseada.

Fresado

Uno de los procesos de mecanizado más importantes para las CNC es el fresado, tomando como referencia la tesis de Aníbal Esteban Romo López (2019. Pág. 6) el cual lo define como: “proceso en el cual se gira una herramienta de varias hojas de corte por sobre la superficie de la pieza a trabajar, generando cortes, desgaste o pulidos en la pieza” podemos estipular que herramientas se podrían implementar en esta primera etapa de elaboración de la máquina CNC.

Preparación de la máquina:

Se elige la máquina fresadora adecuada para el trabajo, ya sea convencional o CNC. Se selecciona la fresa apropiada según el tipo de corte necesario y se coloca en el husillo de la máquina. La pieza en bruto se fija en la mesa de trabajo, asegurándose de que esté debidamente sujeta y alineada.

Programación (solo en fresado CNC):

Si se utiliza una máquina fresadora CNC, se crea un programa en un software de diseño o manufactura asistida por computadora (CAD/CAM). Este programa define la trayectoria de la fresa, la velocidad de corte, la profundidad de corte y otros parámetros.

Posicionamiento inicial:

La máquina posiciona la fresa y la pieza en bruto en la ubicación inicial requerida. Esto se puede lograr moviendo la mesa de trabajo en los ejes X, Y y Z de acuerdo con las coordenadas definidas.

Iniciando el corte:

La fresa comienza a girar a alta velocidad, y la máquina comienza a mover la mesa de trabajo y/o la fresa según el programa o las indicaciones del operador en el fresado convencional. La fresa entra en contacto con la pieza y comienza a eliminar material.

Movimientos de corte:

Durante el proceso de fresado, se realizan movimientos de corte en diferentes direcciones para dar forma a la pieza. Los movimientos pueden ser de avance (en la dirección de corte) o laterales (perpendiculares al eje de corte) según el diseño deseado.

Control de parámetros:

En el fresado CNC, la máquina ajusta automáticamente la velocidad de corte, la profundidad de corte y otros parámetros según el programa. Esto asegura que los cortes sean precisos y uniformes.

Rutas de herramientas:

La fresa sigue una serie de rutas predefinidas, que pueden ser simples o complejas, dependiendo del diseño. Estas rutas determinan cómo se eliminará el material para obtener la forma deseada.

Acabado y detalle:

El fresado puede ser utilizado para dar forma a la pieza, crear ranuras, superficies curvas, agujeros, entre otros. El operador o el programa CNC determina cuándo detener el proceso para lograr la forma final y el acabado deseado. En la ilustración 9 se aprecia las características físicas de una fresadora.

Finalización:

Una vez que se ha realizado el fresado según las especificaciones, se detiene la máquina y se retira la pieza. Puede requerir un proceso de limpieza para eliminar las virutas y el refrigerante de corte.

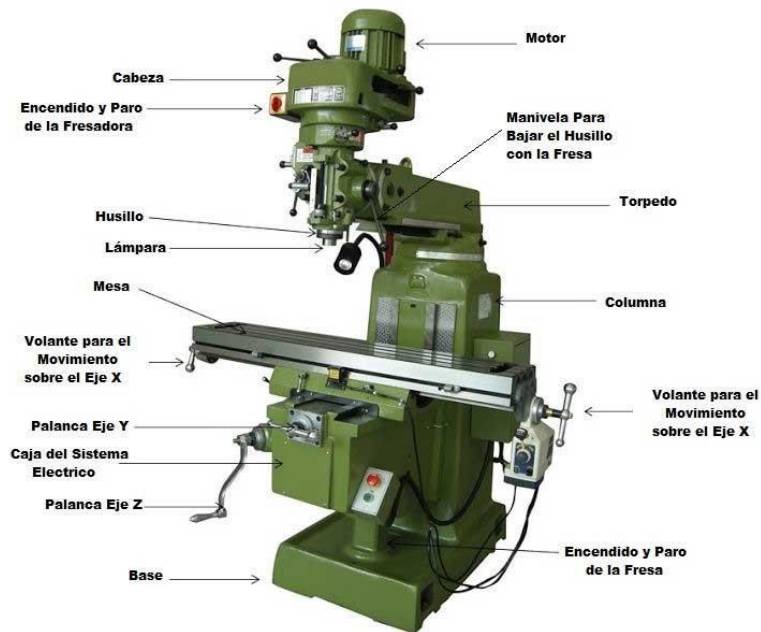


Ilustración 9: Fresadora Convencional, Fresadora.eu ,2023

CAD

Tomando como referencia ENGINEERING & CONSULTING S.L. (2020) se define el CAD como “es el diseño asistido por ordenador, sus siglas en ingles son Computer Aided Design, y gracias a los distintos programas que utilizan esta tecnología podemos crear modelos bidimensionales y tridimensionales a través del ordenador.”

La relación entre CAD y CNC permite una conexión directa entre el diseño digital y la producción física. El CAD crea el modelo de diseño, y el CNC utiliza ese modelo para generar programas de control que guían las máquinas herramienta en la creación de productos precisos y consistentes.

A continuación, se expondrán los puntos en los cuales el CAD ayuda a la CNC

Diseño Preciso:

El proceso comienza en el CAD, donde se crea el diseño detallado del producto o componente. Esto incluye formas, dimensiones, tolerancias y otros detalles.

Creación del Modelo:

El CAD genera un modelo digital en 3D o 2D del diseño. Este modelo actúa como la base para la producción.

Programación CNC

Utilizando el modelo digital del CAD, se crea un programa CNC que contiene las instrucciones detalladas para la máquina CNC. Esto incluye la trayectoria de la

herramienta, la velocidad de corte, la profundidad de corte y otros parámetros. La máquina sigue las instrucciones del programa para cortar y dar forma al material en función del diseño del CAD.

Precisión:

La relación entre CAD y CNC asegura que el diseño original se traduzca con precisión en la pieza física.

Mejora

En la Ilustración 10 se muestran los requerimientos de los cambios en el diseño, estos se realizan en el CAD y se actualiza el programa CNC en consecuencia. Esto permite un cambio rápido y preciso durante el proceso de diseño y fabricación.

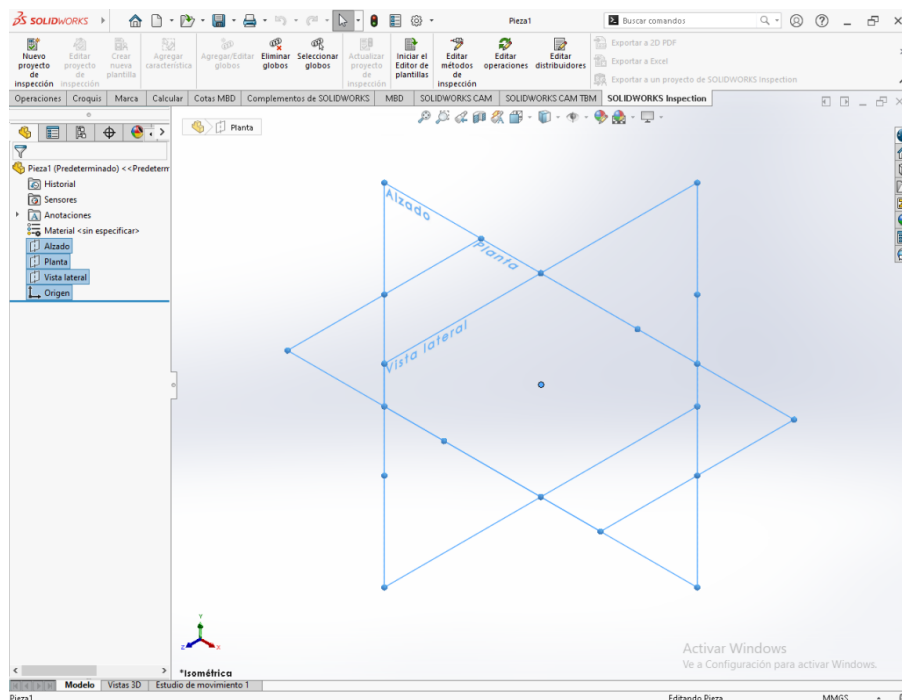


Ilustración 10: SolidWorks, Leonardo M. Y Angelica A., 2023

Placas PCB

La fabricación de placas de circuito impreso (PCB) es un proceso fundamental en la industria electrónica. Una de las etapas clave en este proceso es la perforación de los orificios necesarios para colocar los componentes en la placa. Actualmente, se utilizan taladros eléctricos de alta precisión para realizar esta tarea. Sin embargo, en ciertos casos, se requiere una solución más económica y accesible para realizar perforaciones precisas en placas PCB a pequeña escala.

Las PCB son componentes esenciales en la industria electrónica, En la Ilustración 11 se aprecia una placa, el cual son utilizadas para conectar y sostener los componentes

electrónicos en un circuito. Se componen de una lámina aislante, generalmente de fibra de vidrio, sobre la cual se depositan capas conductoras de cobre y se graban trazas de circuito.

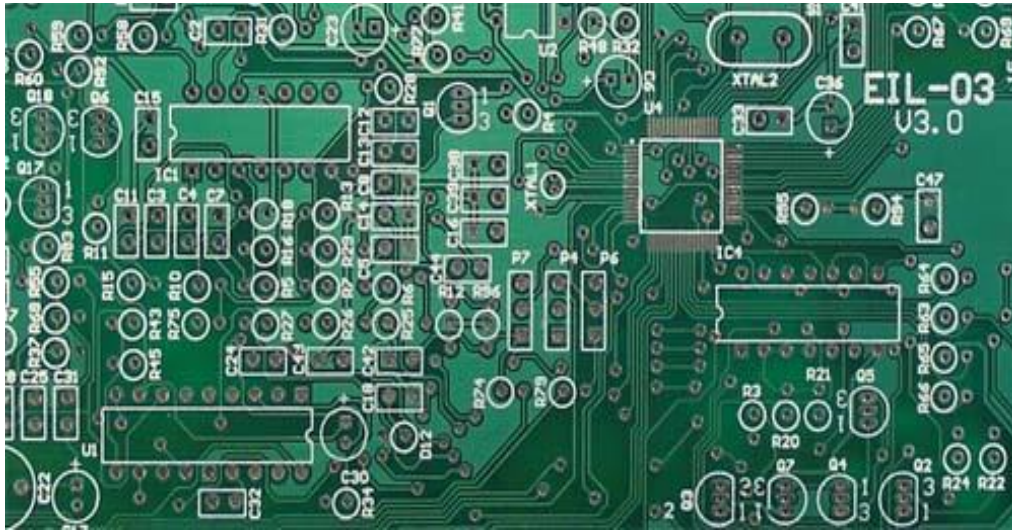


Ilustración 11: Placa PCB, Electrosoft ingeniería, 2010

Plantea Gaibor Puente (2015) en “Diseño e Implementación de una Máquina CNC para la Fabricación de Placas de Circuito Impreso para Componentes SMD” el proceso de fabricación de PCB incluye varias etapas, como el diseño del circuito, la generación de archivos de diseño, la fabricación de la PCB y el ensamblaje de los componentes. La etapa de perforación es crucial para crear los orificios necesarios para insertar los componentes en la PCB.

De acuerdo con el artículo “placas de circuitos impresos” escrito por Zachariah Peterson (2020): Las funciones conductoras de la PCB incluyen trazas de cobre, terminales, disipadores de calor o conductores planos. La estructura mecánica se hace con material laminado aislante entre capas de material conductor. A su vez, la estructura general de la placa es chapada y cubierta con una máscara de soldadura no conductora y una pantalla de impresión para la ubicación de leyenda de componentes electrónicos.

La placa de circuito impreso está construida por capas que se alternan de cobre conductor con capas de material no conductor. Durante la fabricación de la PCB como se muestra en la Ilustración 12, se graban las capas de cobre internas dejando trazas de cobre intencionadas para conectar los componentes de circuito. Una vez laminado el material de aislamiento este es grabado a las capas de cobre y así sucesivamente, hasta que la placa de circuito impreso esté completa.

Los componentes se agregan a las capas externas de la placa de circuito impreso o PCB cuando todas las capas se han grabado y laminado juntas. Las partes de montaje superficial se aplican automáticamente con robots y las partes con orificio pasante se colocan manualmente. Una vez hecho esto, todas las partes se sueldan en la placa utilizando

técnicas tales como reflujo o soldadura por ola. El montaje final se chapa después de aplicar la máscara de soldadura y la pantalla de impresión de la leyenda.

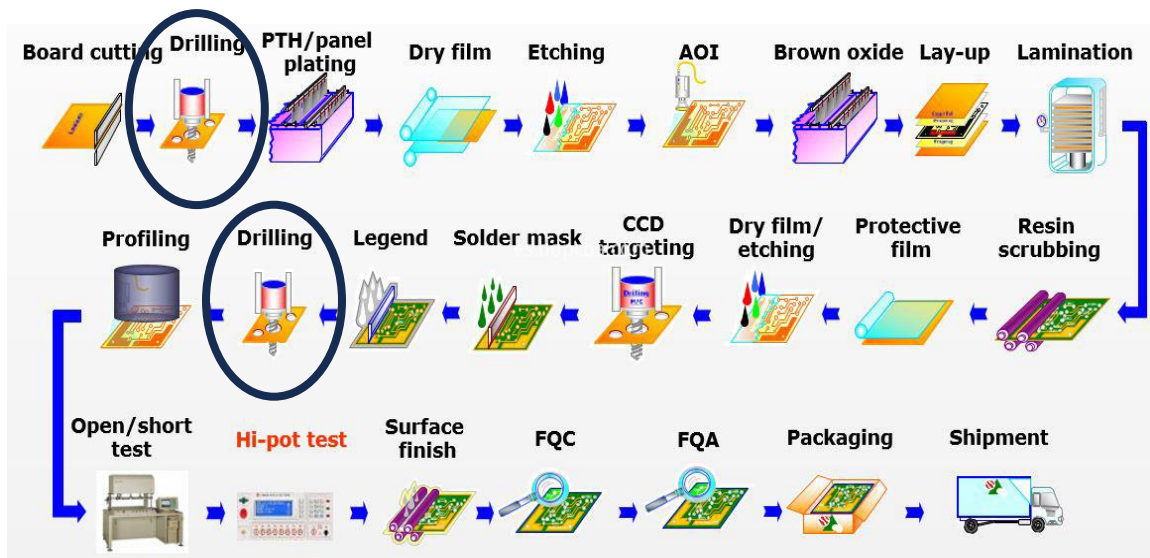


Ilustración 12: Fabricación de PCB, ZhongFeng Electronic Technology Co, 2023

Control Numérico (CN)

El Control Numérico es un método de control automatizado utilizado en máquinas y herramientas, en el cual las operaciones se controlan mediante instrucciones codificadas numéricamente. En el caso de un taladro CN, se utilizan comandos numéricos para controlar los movimientos y la posición de la broca durante la perforación.

Citando la empresa “Mecanizados Garrigues” las características y beneficios del uso de sistemas CNC control numérico son las siguientes

- Sistema sencillo y de fácil programación
- Su precisión proporciona un mayor rendimiento y velocidad. Control de posición de los ejes cada 250
- Analiza sistemáticamente los cambios en el movimiento de ejes, proporcionando al mecanizado alta velocidad
- Se trata de un sistema profesional y eficiente en el menor tiempo posible. Además de una mayor versatilidad y flexibilidad ya que permite ejecutar diversas operaciones en la misma máquina.
- Además, la inexistente manipulación de las herramientas proporciona una mayor seguridad de los operarios y prevención de accidentes.

Así pues, disponen de seis elementos principales:

- Dispositivo de entrada
- Máquina herramienta
- Sistema de accionamiento
- Unidad de control y monitorización
- Dispositivos de realimentación
- Monitor

Además de que el control numérico es un método utilizado en la fabricación para controlar máquinas herramienta mediante comandos codificados numéricamente; el CN permite programar y controlar los movimientos de la herramienta, como el desplazamiento, la velocidad y la trayectoria, con alta precisión y repetitividad. De las cuales se pueden resaltar varias tareas en específicos como lo son:

- I. **Sistemas de coordenadas:** En el control numérico, se utilizan sistemas de coordenadas para definir la posición y el movimiento de la herramienta en el espacio tridimensional. Los sistemas de coordenadas, como el sistema de coordenadas cartesianas, polar o cilíndricas, se utilizan para especificar la ubicación y orientación de la herramienta durante las operaciones de mecanizado.
- II. **Interpolación:** La interpolación es un proceso utilizado en el control numérico para calcular los puntos intermedios en una trayectoria de movimiento. Los algoritmos de interpolación permiten generar trayectorias suaves y continuas entre los puntos programados, lo que asegura movimientos precisos y fluidos de la herramienta.
- III. **Programación de movimientos:** La programación de movimientos en un robot CN implica la creación de un código que define la secuencia y los parámetros de los movimientos que la herramienta realizará. Esto implica la especificación de comandos de desplazamiento, velocidad, aceleración y trayectoria, que se traducen en movimientos físicos del robot.
- IV. **Cinemática y cinemática inversa:** La cinemática es la rama de la robótica que estudia el movimiento de los robots y cómo se relacionan las posiciones y velocidades de las articulaciones con la posición y orientación del extremo de la herramienta. La cinemática inversa es el proceso de determinar las configuraciones de las articulaciones necesarias para alcanzar una posición y orientación específicas del extremo de la herramienta.

- V. Censado y realimentación: Los robots CN pueden incorporar sistemas de sensores para obtener información del entorno y del estado del robot. Esto puede incluir sensores de posición, fuerza, temperatura, entre otros. La realimentación de los sensores permite al robot ajustar y corregir sus movimientos en tiempo real, mejorando la precisión y seguridad de las operaciones.

La utilización de esta teoría en la definición del problema de investigación de un robot CN implica comprender los principios fundamentales de la robótica y el control numérico, así como la aplicación de algoritmos y técnicas para programar y controlar los movimientos del robot. Esto permitirá abordar de manera efectiva los desafíos y requerimientos específicos de la elaboración de un robot CN para una aplicación

De acuerdo con “Avances en control numérico (CNC) en sistemas de fabricación flexible.” Menciona David Juárez Varón (2014) existen numerosas investigaciones y desarrollos en el campo de la robótica industrial, donde se han utilizado robots controlados por computadora para diversas aplicaciones, como ensamblaje, soldadura, manipulación de materiales, entre otros. Estos antecedentes pueden proporcionar información sobre la arquitectura de control, los algoritmos de planificación de trayectorias y las estrategias de programación utilizadas en aplicaciones industriales.

Los sistemas de control numérico se han utilizado ampliamente en la industria de la fabricación de máquinas herramienta, como tornos (ver Ilustración 13), fresadoras y taladros. Los antecedentes relacionados con el desarrollo y la optimización de máquinas herramienta controladas numéricamente pueden ser relevantes para comprender los principios de funcionamiento, la precisión y los desafíos técnicos asociados.



Ilustración 13: Torno CNC, SODECO, 2023

Se debe hacer recalque que dentro de la programación de robots es un aspecto crítico en el desarrollo de un robot CN. Existen investigaciones sobre técnicas de programación, lenguajes de programación específicos para robots, planificación de movimientos, control de trayectorias y sistemas de control en tiempo real. Estos antecedentes pueden proporcionar ideas y enfoques para la programación eficiente y precisa de un robot CN. Los antecedentes relacionados con el desarrollo de sistemas de control en tiempo real, interfaces de usuario, protocolos de comunicación y software de control pueden ser relevantes para el diseño y la implementación de un sistema de control efectivo y confiable para el robot CN.

Desde hace ya tiempo se han hecho investigaciones y proyectos que se centran en aplicaciones específicas de robots CN en campos como la medicina, la agricultura, la exploración espacial, la manufactura aditiva, entre otros. Estos antecedentes pueden proporcionar ejemplos y casos de estudio de cómo los robots CN se han utilizado con éxito en diversas aplicaciones, lo que puede servir como referencia para la investigación actual.

Al revisar y analizar los antecedentes existentes, se puede obtener información valiosa sobre las mejores prácticas, los desafíos técnicos y las oportunidades de mejora en el desarrollo de un robot CN. Esto permitirá construir sobre los conocimientos previos y generar aportes significativos en el área específica de investigación.

TIPOS DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO CNC

En el mundo actual, existe una amplia variedad de fresadoras CNC, que son máquinas utilizadas para dar forma a una gran diversidad de materiales. Estas fresadoras se pueden encontrar en diferentes tamaños y estilos, desde modelos industriales de gran envergadura hasta versiones compactas que caben en un escritorio en casa. En la actualidad, todas las fresadoras CNC utilizan tecnología digital, componentes pequeños y motores de tamaño reducido. Algunas incluso operan completamente con sistemas electrónicos, lo que elimina la necesidad de utilizar compresores de aire o bombas hidráulicas. A pesar de esto, en la industria todavía se emplean sistemas adicionales para trabajar con materiales resistentes o para mantener un funcionamiento constante durante largos periodos.

Existen diferentes máquinas de CNC control numérico como las que se enumeran a continuación:

- Máquina de control punto a punto como se muestra en la Ilustración 14, con la que se marcan, únicamente, los puntos iniciales y finales.

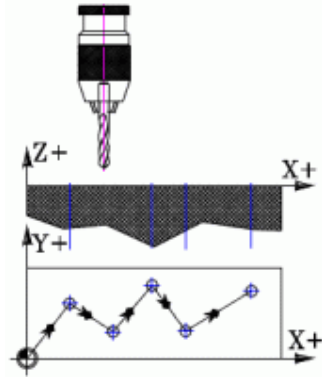


Ilustración 14: Control punto a punto, BirtLH, fecha desconocidos

- Máquinas de control paraxial, con la que se programan los desplazamientos y velocidad (ver Ilustración 15)

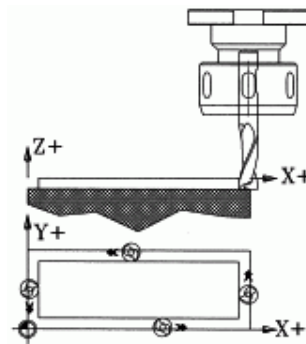


Ilustración 15: Control Paraxial, BirtLH, Fecha Desconocidos

- Máquinas de control interpolar o continuo, orientadas a la fabricación de productos y/o piezas diseñadas por ordenador. (ver Ilustración 16)

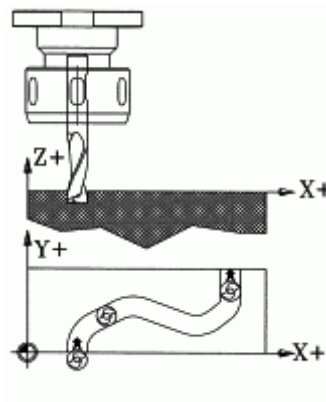


Ilustración 16: control continuo, BirtLH, fecha desconocidos

El diseño ergonómico se enfoca en la interacción entre el ser humano y la máquina, buscando optimizar la comodidad, seguridad y eficiencia del operador. En el caso del taladro manual para placas PCB, se deben considerar principios de diseño ergonómico para garantizar un agarre cómodo, reducir la fatiga y permitir un control preciso durante la perforación.

Para asegurar la precisión y estabilidad en la perforación, se pueden utilizar diferentes mecanismos de guía, como guías lineales o sistemas de rodamientos. Estos mecanismos ayudan a controlar los movimientos de la broca y minimizar la vibración o desviación durante la perforación.

El control de velocidad y profundidad de perforación es fundamental para adaptarse a diferentes materiales y diámetros de orificios en las placas PCB. Esto implica el uso de sistemas de control para ajustar la velocidad de rotación de la broca y controlar la profundidad de perforación de manera precisa y controlada. (ver Ilustración 17)

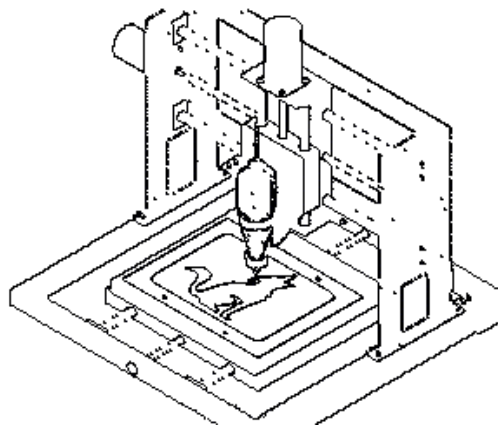


Ilustración 17: CNC, Juan José Peters, 2018

Las fresadoras CNC diseñadas para ser usadas en talleres de trabajos pequeños suelen ser compactas. Esto hace que sea fácil ubicarlas en lugares donde solo se necesite hacer piezas pequeñas. La mayoría de estas máquinas tienen diseños que cualquiera puede usar, a diferencia de las versiones más grandes que están protegidas por las empresas que las hacen. Por eso, hay muchas opciones diferentes de marcas y modelos para estas máquinas más pequeñas. De todas estas opciones, la lista que se da a continuación muestra las principales alternativas al diseño en las cuales se inspiró el proyecto:

- GENMITSU CNC ROUTER 3018-PRO DIY KIT como se ve en la Ilustración 18

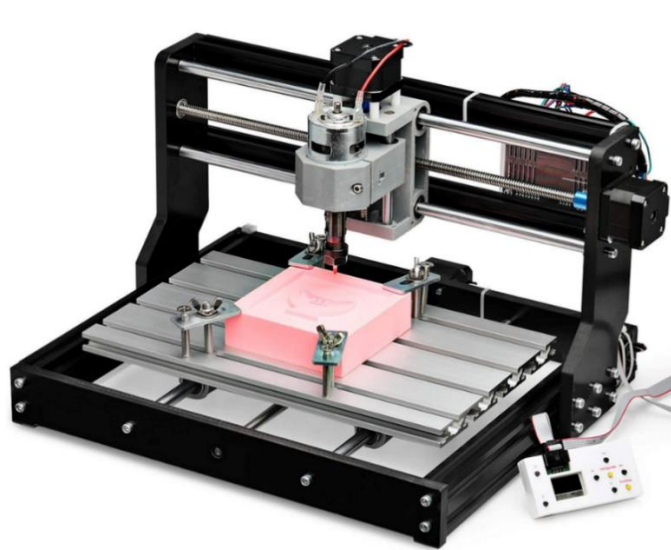


Ilustración 18: GENMITSU CNC ROUTER 3018-PRO DIY KIT, Sain smart, 2023

- En la Ilustración 19 se aprecia un dispositivo SHAPEOKO 4



Ilustración 19: SHAPEOKO 4, Carbide 3D 2023

- En la Ilustración 20 se muestra un ROUTER ER-023



Ilustración 20: ROUTER ER-023, ECUT, 2023

- SNAPMAKER A350T (ver Ilustración 21)

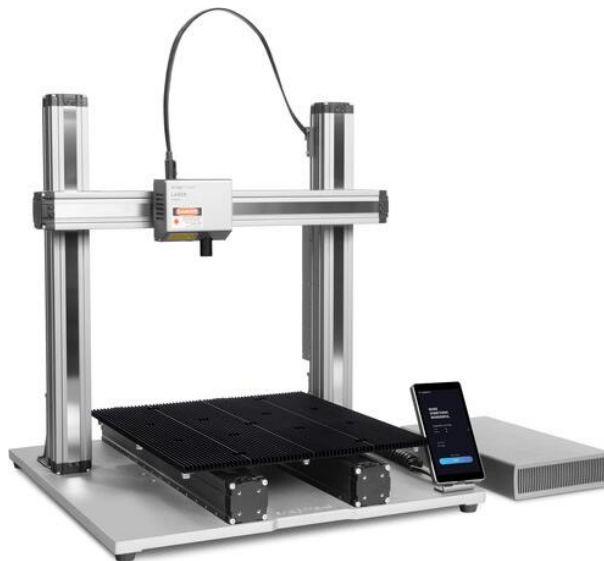


Ilustración 21: SNAPMAKER A350T, B & H Foto & Electronics Corp, 2023

El código G

Es un lenguaje de programación utilizado en la industria de la fabricación para controlar máquinas herramienta, como tornos y fresadoras, mediante comandos numéricos. Dentro de lo más relevante del código G incluye elementos como lo son:

- Comandos y funciones: El código G consta de una serie de comandos y funciones que controlan los movimientos, velocidades, avances y otras operaciones de la máquina herramienta. Algunos ejemplos de comandos comunes en el código G son G00 (movimiento rápido), G01 (movimiento lineal), G02/G03 (movimiento circular), entre otros.
- Coordenadas y sistemas de coordenadas: El código G utiliza sistemas de coordenadas para especificar la posición y el movimiento de la herramienta de la máquina. Los sistemas de coordenadas más comunes son el sistema de coordenadas absoluto (G90) y el sistema de coordenadas incremental (G91), que determinan si las coordenadas se interpretan como valores absolutos o incrementales con respecto a la posición actual.
- Movimientos y trayectorias: El código G permite controlar diferentes tipos de movimientos y trayectorias en la máquina herramienta. Puede especificar movimientos lineales, circulares, helicoidales y otros movimientos complejos. Estos movimientos se definen utilizando los comandos G00, G01, G02, G03 y otros comandos relacionados.
- Velocidad de avance y velocidad de husillo: El código G permite controlar la velocidad de avance de la herramienta y la velocidad de rotación del husillo de la máquina. Los comandos G94 y G95 se utilizan para especificar la velocidad de avance en unidades por minuto o en unidades por revolución, respectivamente. Además, los comandos M03, M04 y M05 se utilizan para controlar el encendido y apagado del husillo.
- Ciclos de mecanizado: El código G también incluye ciclos de mecanizado predefinidos que simplifican la programación de operaciones comunes. Estos ciclos incluyen ciclos de taladrado, roscado, fresado, entre otros. Por ejemplo, el ciclo G81 se utiliza para realizar operaciones de taladrado repetitivas.
- Herramientas y compensación de herramientas: El código G permite gestionar diferentes herramientas en la máquina y realizar cambios automáticos de herramientas. Además, se puede utilizar la compensación de herramientas para ajustar las dimensiones de la herramienta y garantizar la precisión de las operaciones de mecanizado.

El conocimiento del marco teórico del código G es esencial para programar y controlar máquinas herramienta en la fabricación de piezas y componentes. Citando a Cajamarca Naula, J. D., & Talbot Cuenca en “Diseño y construcción de un robot cartesiano controlado por código G para grabado a láser” permite especificar los movimientos, velocidades y

operaciones necesarias para obtener resultados precisos y eficientes. Un programador de CNC debe comprender y aplicar correctamente los comandos y funciones del código G para garantizar la calidad y la eficiencia en los procesos de mecanizado.

El desarrollo de este proyecto se basa en los principios de la robótica, la automatización y el control numérico.

Robótica

La robótica es una disciplina que estudia el diseño, la construcción, la programación y el uso de robots. Se basa en la combinación de diferentes áreas, como la mecánica, la electrónica y la informática, para crear sistemas capaces de interactuar con su entorno y realizar tareas específicas de forma autónoma o controlada (ver Ilustración 22).

Como plantea Santos, V. M. en su libro “Robótica industrial” etimológicamente, el término proviene de la palabra checa robota que significa ‘trabajo forzado’. Se utilizó por primera vez, hace ahora 100 años, en una obra de teatro del autor de la misma nacionalidad, Karel Capek. Esta obra titulada ‘RUR (Rossum’s Universal Robots)’ se estrenaba en 1921 cosechando gran éxito en todo el mundo y dejando sin saberlo, una palabra que perduraría para siempre.



Ilustración 22: Robótica Juan F. Samaniego, 2023

Para hablar del origen de la robótica, se debe nombrar desde Aristóteles y sus ideas sobre ‘herramientas automatizadas’ hasta Henry Ford, pasando por Leonardo Da Vinci y su caballero mecánico o Isaac Asimov. En este punto se nombran los hitos que han supuesto verdaderos avances hacia la automatización y la robótica móvil autónoma, ya a mediados del siglo XX.

Se considera robótica móvil-autónoma a aquella que es capaz de tomar decisiones en entornos cambiantes sin necesidad de supervisión por parte de un operario. Algunos datos históricos de mayor renombre que han tenido en este campo pueden sugerirse:

- ❖ 50s, Inglaterra. ELSIE (Electro-Light-Sensitive Internal-External) es el primer robot móvil de la historia. Sus capacidades técnicas eran todavía muy limitadas. Realmente se trataba de un robot electromecánico sensible a la luz con estabilidad interna y externa.
- ❖ 60s, Stanford Research Institute. SHAKEY: robot que ya incorporaba sensores táctiles y cámara de visión. Podía desplazarse por el suelo gracias a dos computadores (uno a bordo y otro en remoto) que estaban conectados por radio.
- ❖ 70s, MARS-ROVER: plataforma que integraba un brazo mecánico, sensores de proximidad, un dispositivo telemétrico láser y cámaras estéreo. Fue desarrollado por la NASA para explorar terrenos hostiles o desconocidos.
- ❖ 80's, CART del SRI: plataforma que modelaba obstáculos gracias a coordenadas cartesianas en sus vértices.

Definir el significado de robótica como una ciencia que reúne diferentes campos tecnológicos, con el principal objetivo de diseñar máquinas robotizadas capaces de realizar diferentes tareas automatizadas en función de la capacidad de un software. Décadas atrás los robots se han ido implementando en la industria tal y como se ve en la Ilustración 23), pero hoy en día se puede decir que son un factor crucial en la implementación de la Industria 4.0. Por un lado, la automatización de tareas repetitivas y por la ejecución de otras difíciles, agotadoras o peligrosas para los humanos.

Por definición a priori un robot es una máquina automática programable capaz de realizar determinadas operaciones de manera autónoma y capaz de sustituir a los seres humanos en diversas tareas.

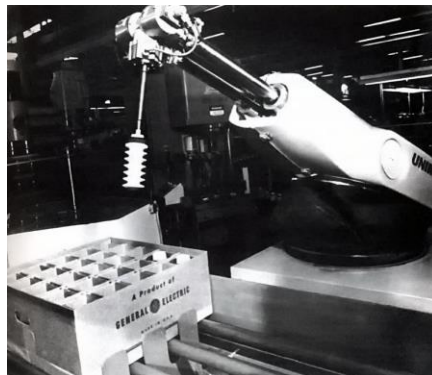


Ilustración 23: Primer Robot Industrial (1984), robotsinactio

CAPÍTULO III DESARROLLO

Inicialmente después de investigar sobre los CNC que inspiraron a realizar este proyecto; se comenzó con la creación de un diseño conceptual, que definía el aspecto y el funcionamiento deseado de la máquina. Esto implicó determinar el tamaño general, el tipo de máquina (en este caso, una perforadora), el número de ejes (tres ejes: X, Y y Z), y las características específicas requeridas, como la capacidad de trabajar con ciertos materiales.

Definiendo tamaño, proporciones y medidas preliminares, al identificar posibles problemas de diseño y ensamblaje se fueron reduciendo las medias y medidas estándares con las que se inició el primer diseño dentro de SolidWorks (ver ilustración 24), con la ayuda de éste mismo facilitó replicar de manera más precisa las dimensiones que a consideración fueron las más adecuadas y confortables para el diseño del CNC tomando en cuenta que se utilizó perfil estructural de aluminio de 20mm x 20mm para su elaboración.

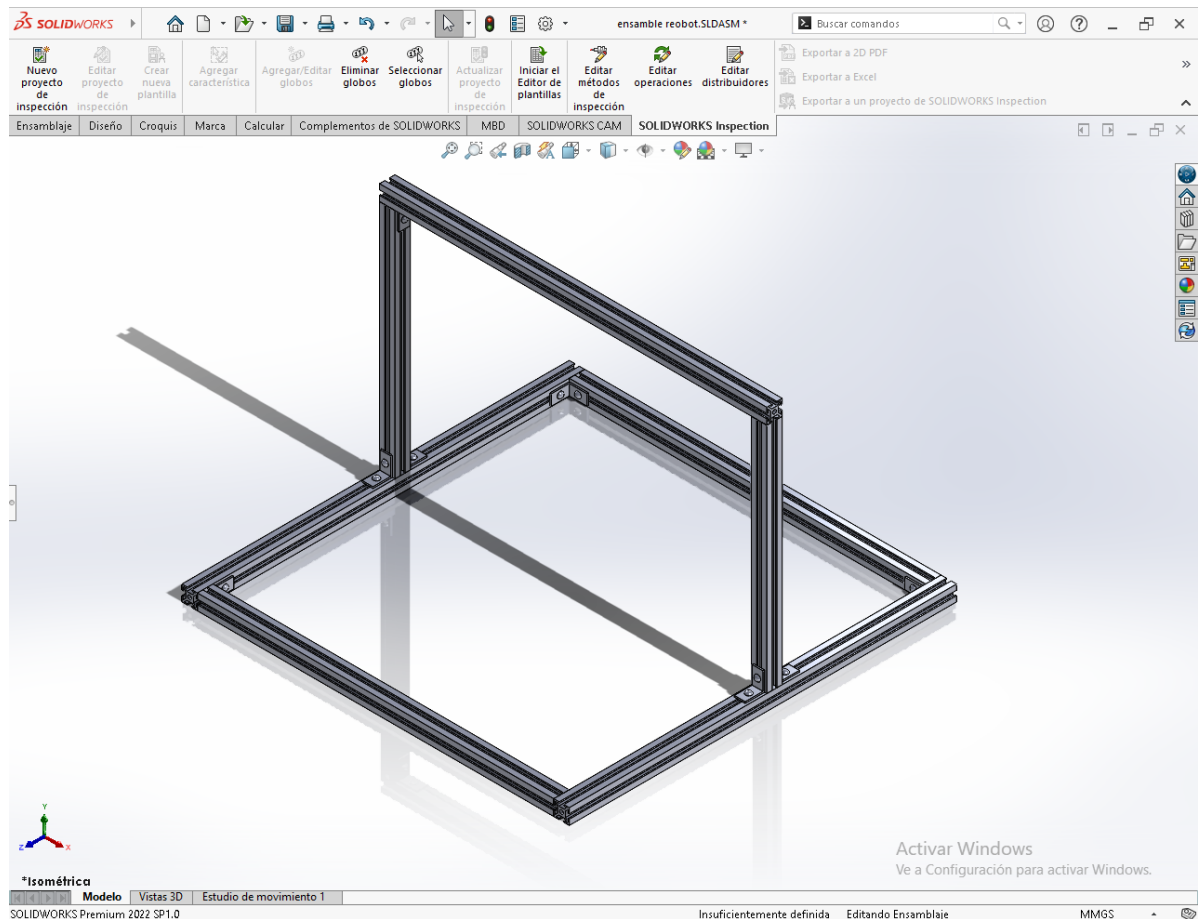


Ilustración 24: Estructura Inicial, Leonardo M. y Angelica A., 2023

Después del análisis y diseño inicial de la máquina se optó por las siguientes medidas: la base tendría una medida de 50 cm por 50 cm y la altura sería de 34 cm como en la Ilustración 25 refiere, esto para que se pudieran manejar placas de un tamaño considerable y no faltará espacio, además de que con futuros cambios de herramienta la altura se podría ajustar a la posición que el operador de la máquina requiera.

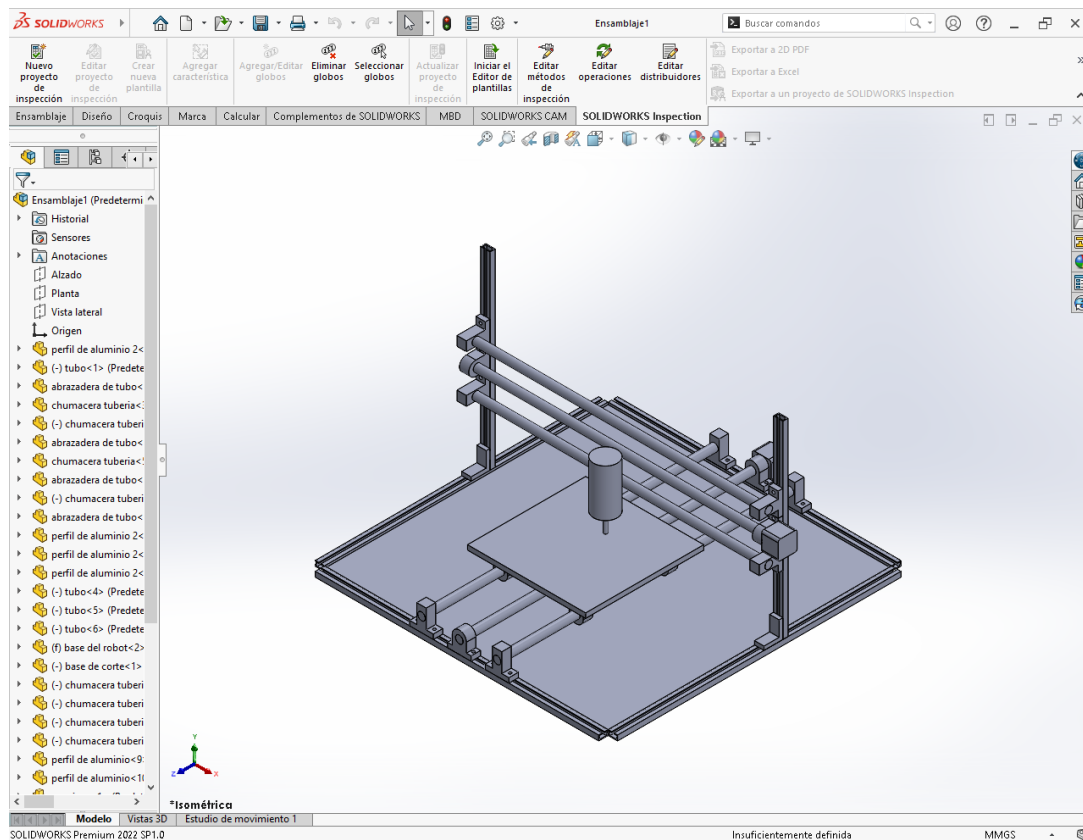


Ilustración 25: Diseño Inicial De Nuestro Robot Autoría Propia

A continuación, utilizando el software de diseño, se elaboró algunos modelos de los componentes que son fundamentales para el correcto funcionamiento de la maquinaria. El enfoque inicial fue en la estructura principal, creando una base sólida a partir de perfiles de aluminio para proporcionar estabilidad y rigidez.

Al observar la Ilustración 26, se muestra un diseño adaptado con elementos que se tenían a disponibilidad; la mayoría de los materiales fueron adquiridos en los establecimientos afines a nuestras necesidades y de igual forma se reciclaron materiales como lo fueron algunas soleras, tornillos y tuercas.

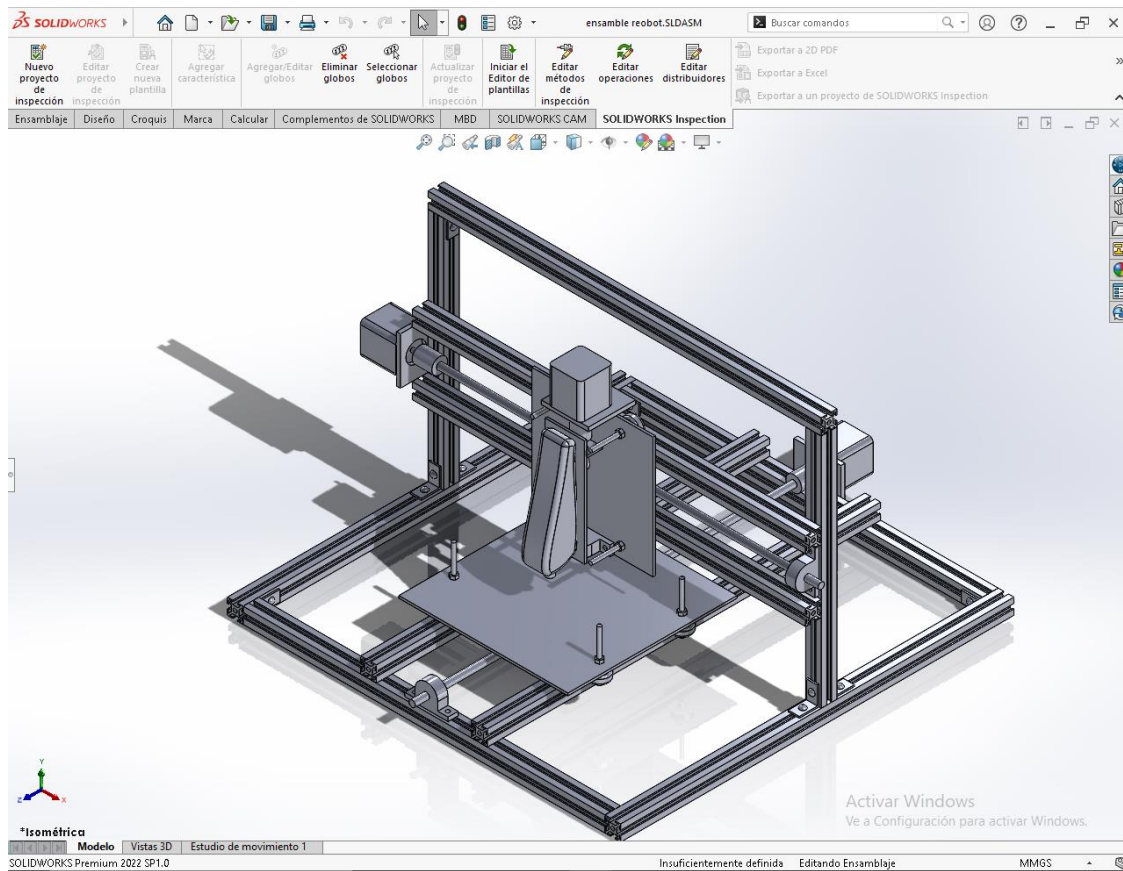


Ilustración 26: Estructura En Base Al Prototipo, Leonardo M. y Angelica A., 2023

Una vez establecida la idea conceptual se procedió hacer un análisis cinemático de la máquina CNC aplicando los conocimientos adquiridos durante el periodo estudiantil, esto para interpretar cómo se comportará en su propio entorno esto delimitado por sus 3 ejes, sus medidas, sus componentes y de momento los elementos con los cuales trabajará como son las placas PCB.

En los siguientes párrafos se muestran los cálculos que se realizaron para el correcto funcionamiento de la CNC

Cinemática del prototipo

$$\begin{matrix} x_0 & d_3 \\ y_0 & = d_2 \\ z_0 & d_1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} x_2 a \\ y_2 a = R_{z_1}^T \left(\frac{\pi}{2} \right) y_2 \\ z_2 a \end{matrix} \quad \begin{matrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{matrix}$$

$$H_0^1 = HR_{z_0}(0)HT_{z_0}(d_1)HT_{z_0}(0)HRT_{z_0}\left(-\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_0^1 = HR_{z_1}(0)HT_{z_1}(d_2)HT_{z_1}(0)HRT_{z_1}\left(-\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2 a = HR_{z_1}\left(\frac{\pi}{2}\right)^T H_1^2$$

$$HR_{z_1}\left(\frac{\pi}{2}\right) HR_{z_1}(0)HR_{z_2}(d_2)HT_{z_1}\left(-\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_0^3 = HR_z^2(0)HT_{z_2}(d_3)HT_{z_2}(0)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_0^3 = H_0^1 R_z^T \frac{\pi}{2} H_1^2 H_2^3$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 1 & 0 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Cinemática inversa del prototipo: **NO APLICA**

Ecuaciones Dinámicas (Formulismo Euler-LaGrange)

Eslabón	Li	ai	di	θi
1	0	$-\frac{\pi}{2}$	d_1	0
2	0	$-\frac{\pi}{2}$	d_2	0
3	0	0	d_3	0

$$\mathcal{L} = (k_1 + k_2 + k_3) \cdot (U_1 + U_2 + U_3)$$

$$(k_1 + k_2 + k_3) = \frac{1}{2} M_1 d_3^2 + d_2^2 + d^2 + \frac{1}{2} M_2 d_3^2 + d_2^2 + \frac{1}{2} M_3 d_3^2$$

$$(k_1 + k_2 + k_3) = \frac{1}{2} M_1 d_1^2 + \frac{1}{2} M_1 + M_2 d_2^2 + \frac{1}{2} \{M_1 + M_2 + M_3\} d_3^2$$

Suma y factor de energías Potenciales

$$(U_1 + U_2 + U_3) = g\{M_1 + M_2 + M_3\}d_1$$

Posteriormente una vez establecida la cinemática se procedió a realizar cálculos mecánicos principalmente el cómo sería perforar una placa con los componentes que en ese momento se tenía tomando en cuenta que la broca más pequeña era de 0.5mm. Una placa estándar de 1.6 mm, un moto tool de baja potencia como prueba para establecer el moto tool que se usará en posteriores mejoras del prototipo

Cálculo de la fuerza de Corte (ejemplo con una broca delgada)

Formulas: $RPM = \frac{V_c \cdot 100}{\pi \cdot D}$

$D_{broca} = 0.5mm$

Avance= S

$S = 0.01\sqrt{D_b \cdot 30}$

$\phi = 118^\circ$

Espesor= 1.6m

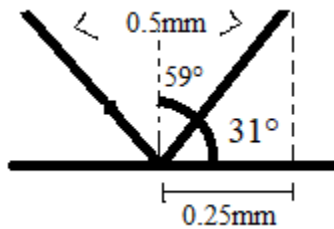
$T_p = \frac{L}{RPM \cdot S}$

$V_c = 300 m/min$

$RPM = \frac{300 m/min \cdot 1000}{\pi \cdot 0.5mm} = 190,985.93 \frac{l}{min}$

$S = 0.01\sqrt{0.5 \cdot 30} = 0.038 \frac{mm}{RPM}$

Cálculo del tiempo de perforación



$\tan 31^\circ = \frac{CO}{0.25mm}$

$CO = \tan(31^\circ)(0.25mm) = 0.15mm$

$T_p = \frac{1.75mm}{190985.93 \cdot 0.038} = 2.41 * 10^{-4} min$

Tasa de remocion del material

$Q = \text{Tasa de remocion}$

Fórmula

$S = \text{Avance}$

$Q = \frac{F_m \cdot W_c \cdot d}{60,000}$

$W_c = \text{Espesor}$

$d = \text{Profundidad}$

$Q = \frac{(0.038)(0.5mm)(1.75m)}{60,000} = 5.54 * 10^{-6} cm^3/s$

Ya que algunos de los componentes requeridos para la elaboración del diseño del proyecto se encuentran estandarizados y se comercializan, no fue del todo necesario realizar cada uno de los diseños debido a que estos se encuentran disponibles en internet, Claro que estos sólo se emplearán en el diseño en 3D (véase ilustraciones 27 a 40), ninguna pieza será fabricada utilizando los diseños, y estos se utilizaran dando sus respectivos créditos por la elaboración de los diseños a su respectivo autor, presentando así los diseños, que fueron tomados como referencia para la elaboración del diseño de la máquina a desarrollar

Encuadrando la plataforma principal se limita la superficie de trabajo central en la que se manejan los principales componentes que realizaran el producto final.

Listado de Materiales:

Componente	No. Piezas	Descripción
Motores Nema 17	3 pza	El motor Nema17 de 2A es un motor paso a paso híbrido bipolar. Este tipo de motores son los más utilizados, en la construcción de máquinas CNC de pequeña-mediana potencia.
Acoples	3 pza	Dispositivo o elemento para unir dos ejes en sus extremos, con el objeto de transmitir movimiento con una potencia y velocidad determinada.
Chumaceras	3 pza	Rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación.

Ilustración

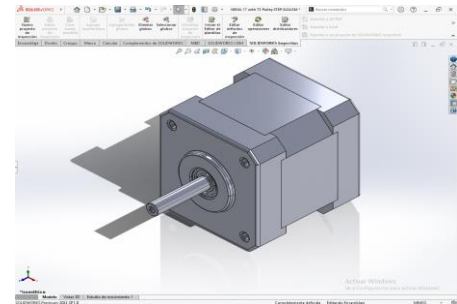


Ilustración 27: Motor nema 17, Maximiliano Santillán, 2012

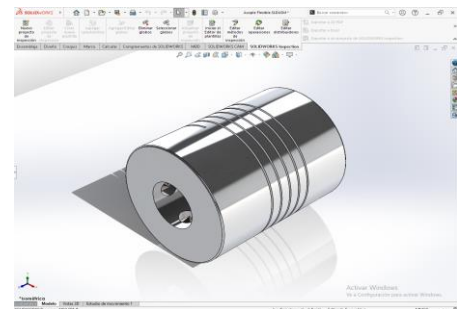


Ilustración 28: acople flexible, Maximiliano Santillán, 2012

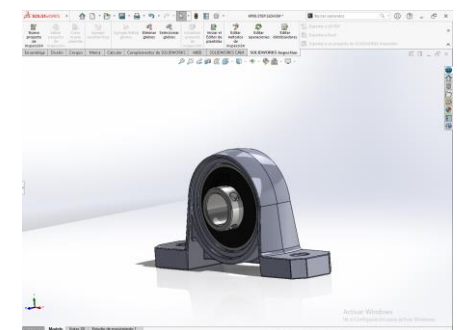


Ilustración 29: KP08, Andrey Nesterov, 2016

Paquetes de jumper M-M y H-M

2 paquetes de 50pz de cada tipo

Elemento que permite cerrar el circuito eléctrico del que forma parte dos conexiones.

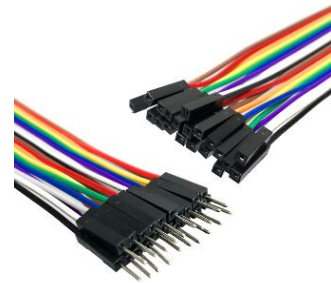


Ilustración 30: Jumper, autor desconocido, 2016

Tornillo sin fin de cuerda estándar

1 metro

Un tornillo sin fin (o husillo) es un elemento, generalmente metálico, utilizado para transmitir movimiento entre ejes.



Ilustración 31: Tornillo sin fin, autor desconocido, 2015

Drivers

1 pza

Un controlador de dispositivo construido para un programa de software que indica al sistema operativo de su computadora cómo comunicarse con una determinada pieza de hardware.

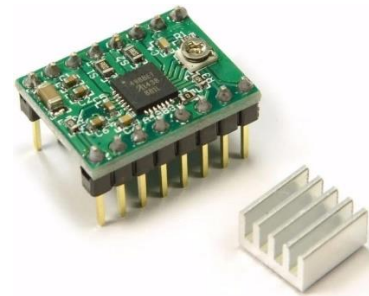


Ilustración 32: Drivers A4988, Vicente García, 2020

Arduino UNO

1 pza

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores.

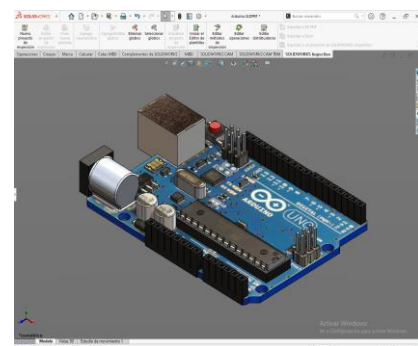


Ilustración 33: ARDUINO UNO, Jorge Alberto Gutiérrez Canales, 2015

Fuente de
voltaje de
24v -12v

1 pza

Dispositivo que tiene dos terminales encargadas de generar un voltaje de salida, independientemente de las cargas que reciba.

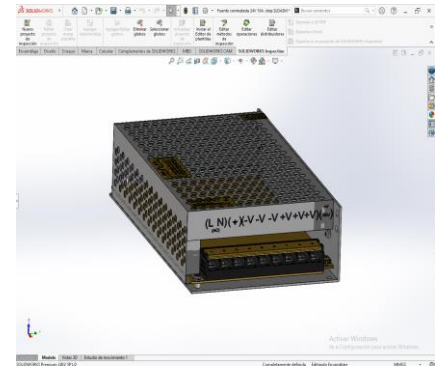


Ilustración 34: Fuente conmutada, UNIT ELECTRONICS, 2021

Tornillos

Aprox 50
pza

Pieza metálica cilíndrica o cónica, con un resalte helicoidal que la recorre total o parcialmente y una cabeza con una ranura para alojar la pala del destornillador, que sirve para sujetar una cosa a otra.



Ilustración 35: Tornillos, 2023, Desconocido

Placas de
aluminio

1 pza

Es un plano rectangular fino de metal que, por su presentación, es versátil en sus aplicaciones.



Ilustración 36: Placas de aluminio, 2023, Desconocido

Placas soleras

1 pza

Una solera de acero es una placa de metal plana que se utiliza para fabricar herramientas o distintas estructuras metálicas; también se utiliza como un perfil estructural.

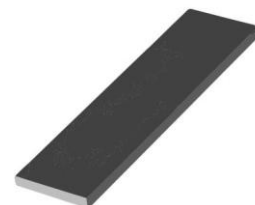


Ilustración 37: Soleras, 2023, Desconocido

Pasta térmica 1 tubo Se trata de un compuesto cuya función es conducir el calor entre dos piezas,



Ilustración 38: Pasta térmica, 2023, Desconocido

Taladro de mano 1 pza El taladro es una máquina que nos permite hacer agujeros debido al movimiento de rotación que adquiere la broca sujeta en su cabezal.



Ilustración 39: Taladro, 2023, Desconocido

Baleros con recubrimiento de goma tipo rueda 2 pza

Es una pieza esencial del conjunto de la rueda que conecta la rueda con el eje.



Ilustración 40: Baleros de goma, 2023, Desconocido

Tras la finalización de los cálculos y la adquisición de los materiales requeridos, se inició la construcción del CNC, tomando como base un prototipo inconcluso del Laboratorio de Automatización del instituto. El proceso de construcción se caracterizó por un enfoque meticuloso y técnico, abordando cada aspecto del diseño y la estructura con precisión.

La reconversión del prototipo original involucró una reconfiguración integral del diseño y la estructura, enfocándose en aspectos críticos como la resistencia mecánica, la estabilidad y la precisión del sistema.

La selección del aluminio como material principal para el esqueleto del CNC se basó en una evaluación de propiedades físicas y mecánicas. Su alta resistencia a la tracción, relación peso-resistencia favorable, durabilidad y facilidad de mecanizado lo convirtieron en la opción ideal para este tipo de sistema. El aluminio también ofrece una excelente resistencia a la corrosión y al desgaste, asegurando la longevidad del CNC en entornos exigentes.

La sustitución del esqueleto original por aluminio generó un impacto significativo en el rendimiento general del CNC (Ver ilustración 41). La mayor resistencia mecánica del aluminio permitió aumentar la capacidad de carga y la rigidez del sistema mejorando la estabilidad durante la operación. Además, la precisión del garantizaron la alineación de los componentes y la exactitud de los movimientos del CNC.



Ilustración 41:Reestructuración de Robot (fuentes propias),2023

En el ámbito electrónico, se emprendió una investigación con el objetivo de establecer la conexión entre los motores y una placa Arduino, permitiendo así el control de los movimientos del robot desde una PC. Esta investigación culminó con la identificación de un diagrama que satisfacía plenamente las necesidades del proyecto. La siguiente ilustración proporciona una representación detallada de las conexiones realizadas para los motores. (véase Ilustración 42)

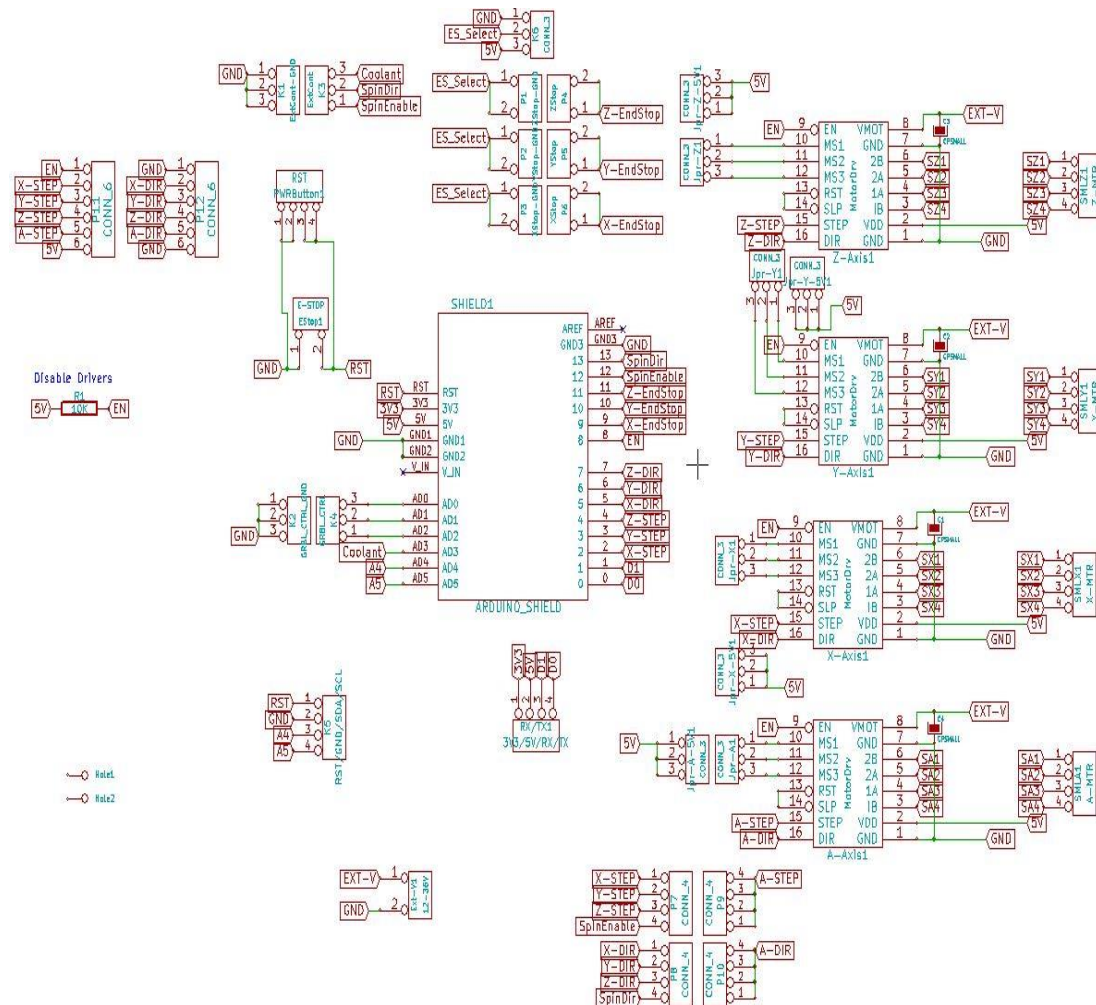


Ilustración 42: Diagrama de conexión de Drivers a Arduino UNO (Autor Desconocido),2023

El diagrama detalla las conexiones presentes en un CNC shield, un componente crucial que actúa como intermediario entre la placa Arduino y los motores. Su función principal reside en la interpretación y traducción de las señales enviadas por la placa Arduino, convirtiéndolas en comandos precisos que controlan los motores de manera simultánea y bajo diferentes instrucciones. Además de su función de control de motores, el CNC shield también asume la responsabilidad de gestionar el router, asegurando una sincronización precisa entre todos los componentes del CNC.

En esta etapa, se llevaron a cabo pruebas físicas de los motores con el objetivo de verificar su funcionamiento y operatividad en la Ilustración 43 y 44 se puede apreciar la prueba. Dado que el programa de control aún no se encontraba finalizado, se optó por conectar los motores a una fuente de voltaje para evaluar su comportamiento. Esta prueba se realizó con precaución para garantizar la integridad de los componentes y la seguridad personal. Los resultados de las pruebas fueron satisfactorios, confirmando el correcto funcionamiento de los motores y sentando las bases para la posterior integración con el programa de control.

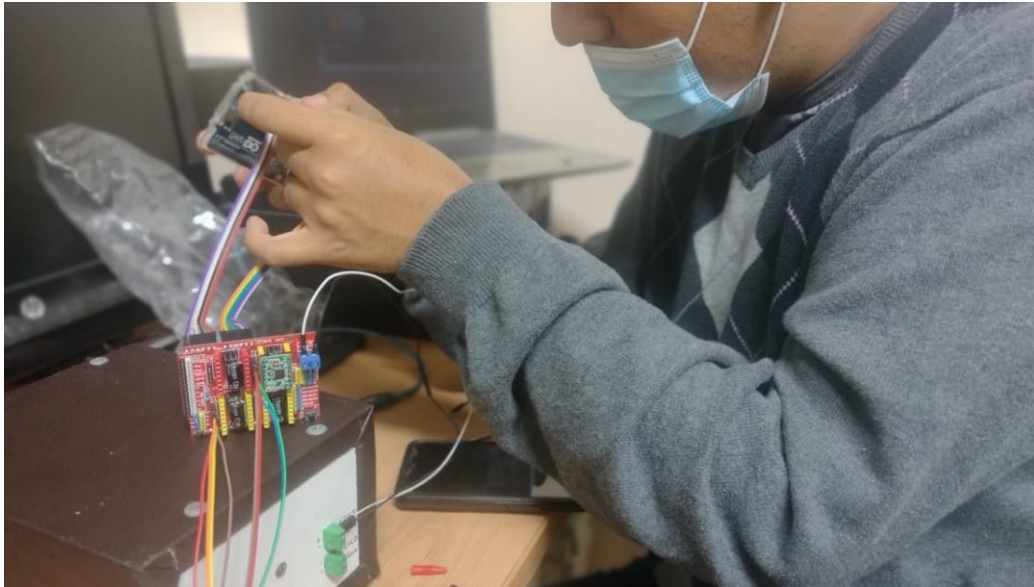


Ilustración 43: Conexión y revisión de motores Nema 17(Fuentes Propias),2023

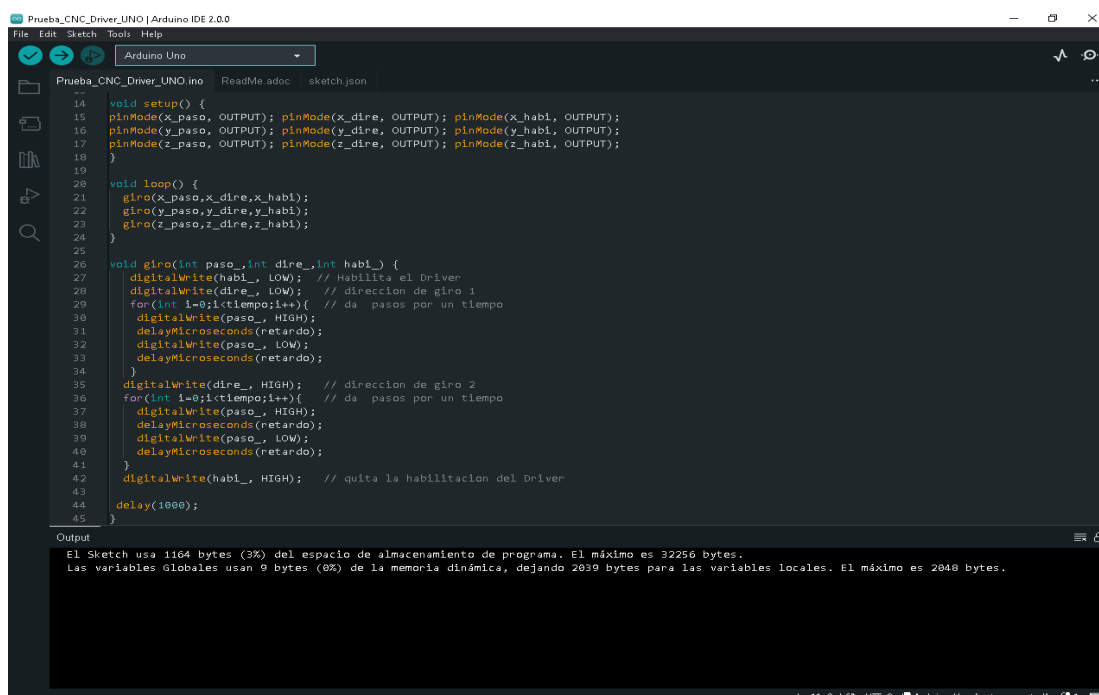


Ilustración 44: Conexión y revisión de motores Nema 23(Fuentes Propias),2023

La siguiente etapa consistió en el desarrollo del programa de control para los motores del CNC, utilizando el software Arduino como plataforma principal. Este programa debía

contener las instrucciones precisas para controlar el movimiento de los motores ubicados en los ejes X, Y y Z, permitiendo así la ejecución de desplazamientos controlados en el espacio tridimensional.

El proceso de programación presentó desafíos iniciales debido a que el equipo no poseía un dominio completo del software Arduino. Sin embargo, gracias a la valiosa asesoría y orientación proporcionada por nuestros docentes dentro del instituto, se logró superar esta limitante y se culminó con éxito la creación del programa de control el cual se muestra en la Ilustración 45. Este programa cumplía con los objetivos establecidos, proporcionando control sobre la dirección, la velocidad y el tiempo de retardo para cada eje del CNC.



```
14 void setup() {
15   pinMode(x_paso, OUTPUT); pinMode(x_dire, OUTPUT); pinMode(x_habi, OUTPUT);
16   pinMode(y_paso, OUTPUT); pinMode(y_dire, OUTPUT); pinMode(y_habi, OUTPUT);
17   pinMode(z_paso, OUTPUT); pinMode(z_dire, OUTPUT); pinMode(z_habi, OUTPUT);
18 }
19
20 void loop() {
21   giro(x_paso,x_dire,x_habi);
22   giro(y_paso,y_dire,y_habi);
23   giro(z_paso,z_dire,z_habi);
24 }
25
26 void giro(int paso, int dire, int habi) {
27   digitalWrite(habi, LOW); // Habilita el Driver
28   digitalWrite(dire, LOW); // direccion de giro 1
29   for(int i=0;i<tiempo;i++){ // da pasos por un tiempo
30     digitalWrite(paso, HIGH);
31     delayMicroseconds(retardo);
32     digitalWrite(paso, LOW);
33     delayMicroseconds(retardo);
34   }
35   digitalWrite(dire, HIGH); // direccion de giro 2
36   for(int i=0;i<tiempo;i++){ // da pasos por un tiempo
37     digitalWrite(paso, HIGH);
38     delayMicroseconds(retardo);
39     digitalWrite(paso, LOW);
40     delayMicroseconds(retardo);
41   }
42   digitalWrite(habi, HIGH); // quita la habilitacion del Driver
43
44   delay(1000);
45 }
```

Output

El Sketch usa 1164 bytes (3%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables globales usan 9 bytes (0%) de la memoria dinámica, dejando 2039 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Ln 11, Col 60 UTP-8 Arduino Uno [not connected]

Ilustración 45: Código en programa Arduino (Captura de Autoría Propia),2023

Una vez finalizada la configuración electrónica del CNC, se procedió a la etapa de montaje del circuito en la estructura principal. Dado que no se contaba con bases fijas para los motores, se optó por fabricarlas utilizando materiales disponibles. Con la valiosa colaboración del instituto, se obtuvo acceso a placas soleras que fueron perforadas de acuerdo con las dimensiones específicas de los motores. Debido a que los cortes iniciales no alcanzaron la precisión deseada, se realizó un proceso de lijado para eliminar excedentes y garantizar la seguridad de los usuarios. Este trabajo se llevó a cabo en el taller de manufactura del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, donde se cuenta con la infraestructura y los recursos necesarios para este tipo de actividades.

Posterior a ello se realizaron las pruebas del código G utilizando los comandos necesarios para que los motores de los ejes, la placa y taladro funcionen correctamente al igual de tener un comando de paro general

CÓDIGOS G-M
CENTRO DE MAQUINADO VERTICAL. BASS, VF0

CÓDIGOS G

Los códigos G se emplean para ordenar acciones específicas para la máquina, por ejemplo movimientos simples o la función de taladrado.

Se dividen en grupos, los códigos del grupo 00 son no modales. Un código modal significa que una vez ordenado, el código G tendrá efecto hasta que se ordene otro código G del mismo grupo

CÓDIGO	GRUPO	FUNCIÓN
G00	01	Movimiento rápido
G01	01	Movimiento de interpolación lineal
G02	01	Movimiento de interpolación Circular a mano derecha (CW)
G03	01	Movimiento de interpolación Circular a mano izquierda (CCW)
G04	00	Pausa (Dwell)
G09	00	Alto o paro total
G10	00	Fijar desplazamientos
G12	00	Fresado de cavidad circular a mano derecha
G13	00	Fresado de cavidad circular a mano izquierda
G17	02	Selección del plano XY
G18	02	Selección del plano ZX
G19	02	Selección del plano YZ
G20	06	Seleccionar pulgadas
G21	06	Seleccionar milímetros
G28	00	Retorno al cero de la máquina
G29	00	Retorno al punto de referencia
G31	00	Saltar, omitir o pasar por alto la función
G35	00	Medición automática del diámetro de la herramienta
G36	00	Medición automática de los desplazamientos de trabajo
G37	00	Medición automática de los desplazamientos de la herramienta
G40	07	Cancelar compensación del cortador
G41	07	Compensación del cortador a la izquierda
G42	07	Compensación del cortador a la derecha
G43	08	Compensación + de la longitud de la herramienta
G44	08	Compensación – de la longitud de la herramienta
G47	00	Grabado de texto
G49	08	Cancela G43/G44/G143
G50	11	Cancelar G51
G51	11	Escalando
G52	00	Establecer el sistema de coordenadas
G53	00	Selección fuera de modalidad de las coordenadas de la máquina
G54-G59	12	Selección del sistema de coordenadas de trabajo
G60	00	Posicionamiento unidireccional
G61	13	Alto total dentro de modalidad (Exact Stop modal)
G64	13	Cancelar G61
G65	00	Llamada macro-subrutina
G68	16	Rotación

Tabla 1 Código G

G69	16	Cancelar G68
G70	00	Configuración circular para agujeros para tornillos
G71	00	Arco modelo para agujeros para tornillos
G72	00	Agujeros para tornillos a lo largo de un ángulo
G73	09	Ciclo preprogramado de taladro con avances cortos a alta velocidad
G74	09	Ciclo preprogramado de roscado inverso
G76	09	Ciclo preprogramado de acabado fino cilíndrico
G77	09	Ciclo preprogramado de perforado de la parte posterior cilíndrica
G80	09	Cancelar ciclo preprogramado
G81	09	Ciclo preprogramado de taladro
G82	09	Ciclo preprogramado de taladrado de centros
G83	09	Ciclo preprogramado de taladrado en avances cortos
G84	09	Ciclo preprogramado de roscado o machuelado
G85	09	Ciclo preprogramado de perforado cilíndrico
G86	09	Ciclo preprogramado de alto / perforado cilíndrico
G87	09	Ciclo preprogramado de retracción manual / perforado cilíndrico
G88	09	Ciclo preprogramado de retracción manual/pausa/perforado cilíndrico
G89	09	Ciclo preprogramado de pausa y perforado cilíndrico
G90	03	Sistema absoluto
G91	03	Sistema incremental
G92	00	Establecer coordenadas de trabajo
G93	05	Modalidad de avance de tiempo inverso
G94	05	Modalidad de avance por minuto
G98	10	Retorno al punto inicial
G99	10	Retorno al plano R
G100	00	Cancelar la imagen espejo
G101	00	Activar la imagen espejo
G102	00	Salida programable al RS-232
G103	00	Límite del previsor de bloques
G107	00	Correlación o transformación cilíndrica
G110-G129	12	Seleccionar del sistema de coordenadas de trabajo
G136	00	Medición automática del centro del desplazamiento de trabajo
G143	08	Compensación de la longitud de herramienta en el 5 eje
G150	00	Propósito general de fresado de cavidad
G174-G184	00	Roscado rígido con propósitos generales
G187	00	Control de precisión para maquinado en alta velocidad

Tabla 2 Código G

CENTRO DE MAQUINADO VERTICAL. BASS, VF0
CÓDIGOS M

Los códigos M son comandos que no mueven los ejes, solo se permite un código M por línea de código. Todos los códigos M toman efecto al final del bloque

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
M00	Alto al programa
M01	Alto opcional al programa
M02	Fin del programa
M03	Husillo en sentido horario
M04	Husillo en sentido anti-horario
M05	Alto al husillo
M06	Cambio de herramienta
M08	Encender líquido refrigerante
M09	Apagar refrigerante
M10	Embrague del freno del 4º. eje
M11	Desembragar freno del 4º eje
M12	Embrague del freno del 5º.eje
M13	Desembrague del 5º.eje
M16	Cambio de herramienta (igual que M06)
M19	Orientación del husillo
M21-M28	Función pulsada m con aletas para disipar calor
M30	Fin de programa y retorno al inicio del programa
M31	Transportador de virutas hacia delante
M32	Transportador de virutas hacia atrás
M33	Alto al transportador de virutas
M34	Incrementar la posición de la espiga del refrigerante
M35	Disminuir la posición de la espiga del refrigerante
M36	Rotar la paleta
M39	Rotar el carrusel de herramienta
M41	Sobre-controlar el engranaje de baja
M42	Sobre-controlar el engranaje de alta
M51-M58	Encender códigos M opcionales del usuario
M61-M68	Apagar códigos opcionales del usuario
M75	Establecer G35 o G136 punto de referencia
M76	Desactivar pantallas
M77	Activar las pantallas
M78	Alarma si se encuentra la señal de omisión
M79	Alarma si no se encuentra la señal de omisión
M82	Soltar o liberar la herramienta
M86	Fijar o sujetar la herramienta
M88	Encender el refrigerante a través del husillo
M89	Apagar el refrigerante a través del husillo
M95	Modalidad de dormir la máquina cuando no esta en uso
M96	Saltar u omitir si no hay señal
M97	Llamada a subprograma local
M98	Llamada a subprograma
M99	Retorno o repetición del subprograma

Tabla 3: Código M

CAPÍTULO IV RESULTADOS

Esta etapa consistió en la verificación exhaustiva del sistema, evaluando su desempeño en cuanto a precisión, control de movimiento y sincronización entre los diferentes componentes. Las pruebas se realizaron en un entorno controlado, siguiendo protocolos de seguridad para garantizar la integridad del equipo y la protección personal.

Tras la finalización del montaje del circuito y la fijación de los motores, se procedió a la etapa de acoplamiento y alineación de los componentes. En primer lugar, se fijaron los espárragos a los acoples, los cuales se encontraban conectados a los motores, se colocó una chumacera por espárrago en el extremo opuesto de cada motor. A continuación, se atornilló todo el conjunto a la estructura principal, utilizando la instrumentación adecuada. En este caso, se empleó un nivel para garantizar la perfecta nivelación de la placa ubicada en la parte inferior del robot, denominada "Eje X". Este proceso permitió ajustar las ruedas a su guía de perfil con precisión, asegurando una base equilibrada y estable.

De manera similar, se verificó la alineación correcta de la placa sujeta en la parte superior de la estructura, la cual se encuentra fijada a los motores denominados "Eje Y" y "Eje Z". Una vez comprobada la alineación, se procedió a montar el taladro de mano en el "Eje Z", completando así la instalación de los componentes principales del CNC.

Las pruebas finales del proyecto se llevaron a cabo en el Laboratorio de Automatización del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, un espacio controlado para garantizar la seguridad y precisión de las pruebas. La ilustración muestra la culminación de la instalación del esparrago en el "Eje Z" y la incorporación de la base de sujeción para el taladro de mano.

Tras completar el ensamblaje físico, se procedió a realizar las conexiones eléctricas finales. El cable de alimentación del taladro de mano se conectó a la red eléctrica, mientras que los motores se conectaron a la placa Arduino. Esta última, a su vez, se encontraba conectada a una fuente de voltaje para garantizar su correcto funcionamiento.

Con el código de control previamente desarrollado cargado en la placa Arduino, se inició la prueba final del robot. Los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios, ya que el programa permitió controlar con precisión el movimiento, desplazamiento y dirección de las placas base en los tres ejes (X, Y y Z).

Cabe destacar que, debido a la falta de una placa PCB en el momento de las pruebas, se optó por utilizar una placa de madera como superficie de trabajo temporal como muestra la Ilustración 46. Esta solución provisional permitió evaluar el funcionamiento general del robot y validar su potencial para aplicaciones futuras.

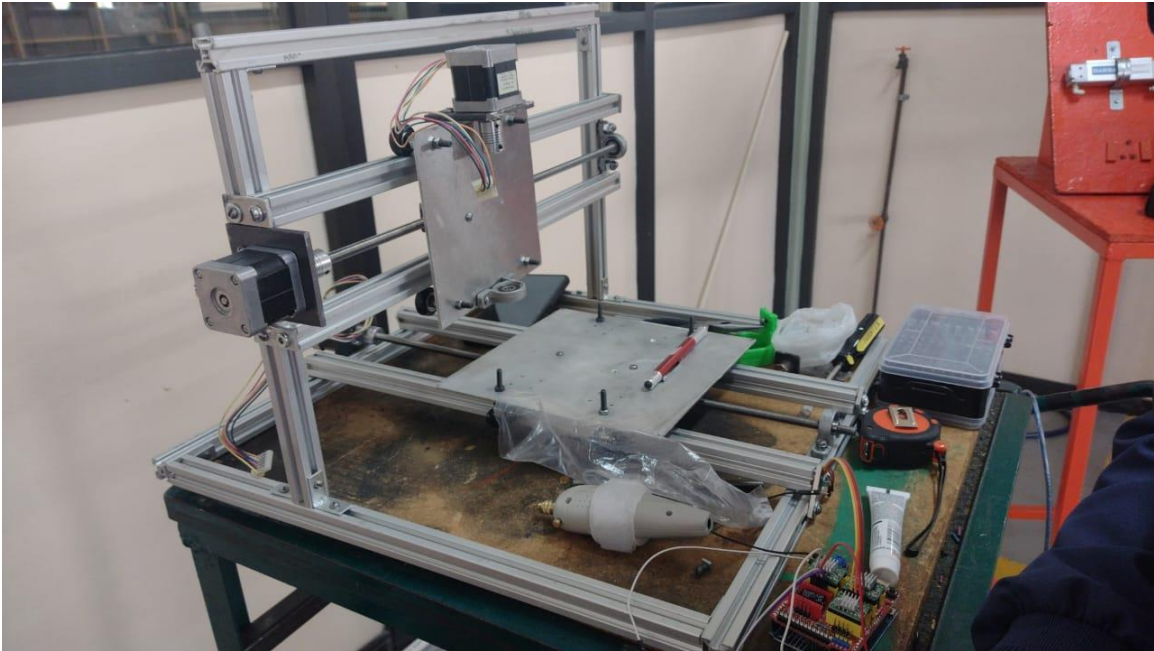


Ilustración 46: Primer prueba del prototipo en función (Fuentes Propias),2023

Los resultados obtenidos superaron con las expectativas iniciales del equipo. A partir de esta base sólida, se han planteado diversas mejoras para el futuro del proyecto como se nota en la Ilustración 47. Entre ellas se encuentran la adaptación de un revólver que contenga una broca de tungsteno para realizar grabados en placas de acrílico o aluminio, y la expansión de la funcionalidad de la "fase 1" de perforación para que también pueda aplicarse en placas de madera o aluminio delgado plasmado en la Ilustración 48. Estas mejoras permitirán ampliar las capacidades del robot y hacerlo aún más versátil y útil para una variedad de aplicaciones.

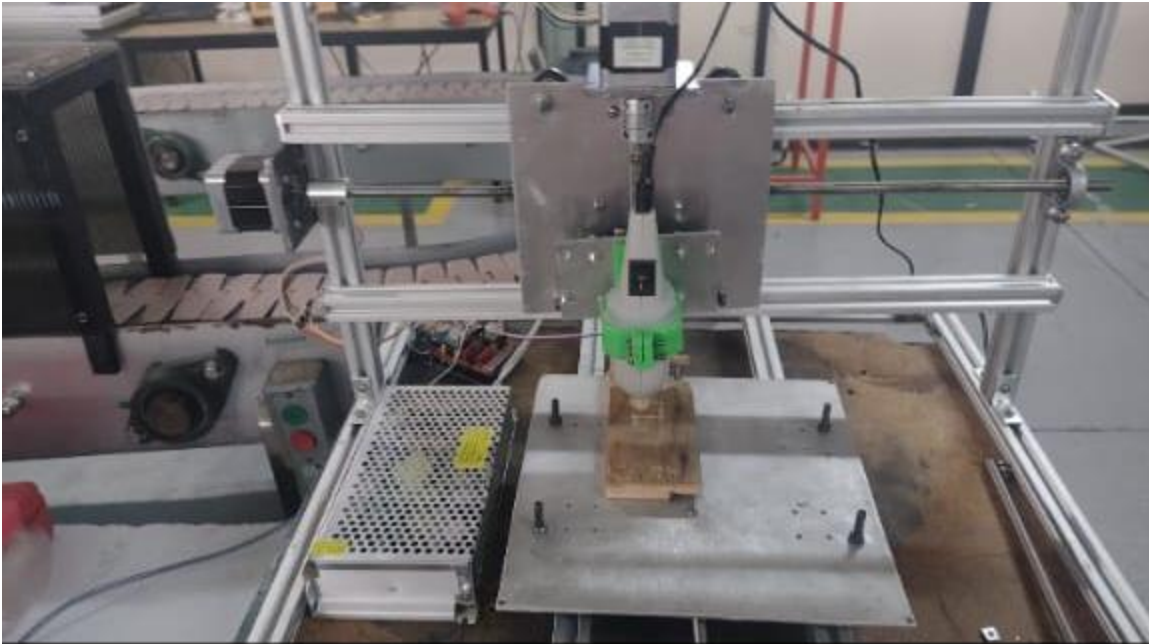


Ilustración 47: Prueba final del prototipo en función (Fuentes Propias),2023

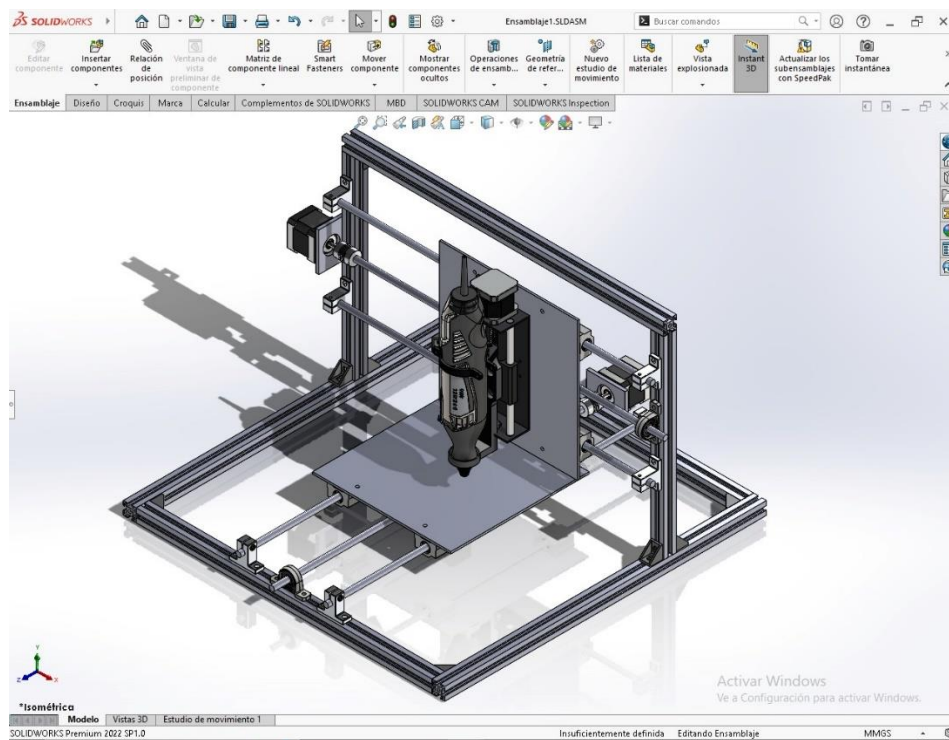


Ilustración 48: Estructura deseada (Fuentes Propias),2023

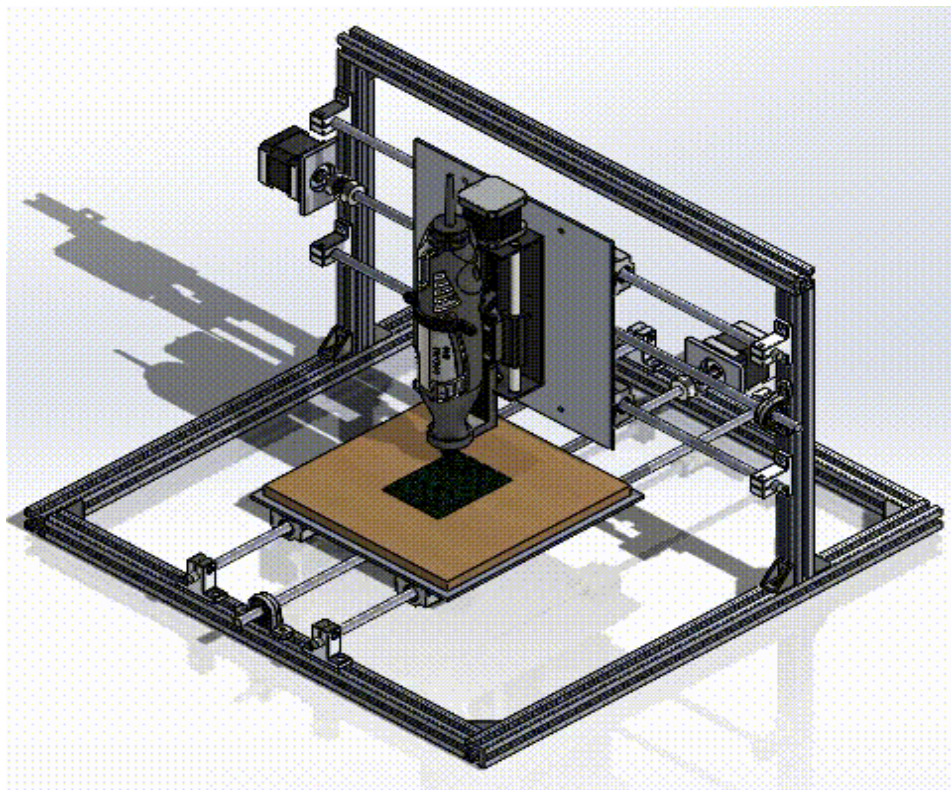


Ilustración 49: animación de estructura deseada (Fuentes Propias),2023

CONCLUSIONES

Gracias a la exhaustiva investigación previa y al trabajo en equipo, se logró desarrollar con éxito la máquina CNC, cumpliendo el objetivo principal de perforar placas PCB mediante el uso de código G. Se espera que se continúe con el proceso de mejora y optimización del CNC, incorporando la sección revólver para ampliar su funcionalidad y aprovechar al máximo las capacidades que su diseño y estructura permiten.

Las máquinas CNC de alta calidad ofrecen una serie de ventajas significativas en comparación con los métodos de mecanizado tradicionales. Su principal característica es la eficiencia y la productividad, ya que permiten automatizar tareas repetitivas y precisas, reduciendo significativamente el tiempo y el esfuerzo requeridos. Además, estas máquinas destacan por su precisión, capaz de realizar cortes, torneados, fresados y taladrados con un alto grado de exactitud, lo que resulta ideal para aplicaciones que demandan tolerancias ajustadas y acabados de alta calidad.

En el caso del proyecto presentado, la adquisición de los perfiles de aluminio y los espárragos representó un desafío inicial. Sin embargo, gracias a la perseverancia y el trabajo en equipo, se pudo superar este obstáculo y completar la construcción del CNC. El proceso de ensamblaje y programación requirió de un esfuerzo considerable, pero los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios, cumpliendo con las expectativas del equipo y demostrando el potencial de esta tecnología para aplicaciones futuras.

Nuestro proceso de maquinado posee medidas preventivas para evitar riesgos y accidentes laborales. Su programación mediante el software que incluye está elaborada para recibir órdenes y hacer el trabajo por sí solo cuantas veces lo soliciten, sin la necesidad de la intervención humana, a excepción de un operador que pueda dictaminar las tareas que el equipo realizará.

A lo largo del desarrollo del proyecto se logró aplicar una gran variedad de conocimiento adquirido a lo largo de la carrera cómo fue el diseño estructural del robot por medio de softwares cómo SolidWorks, la aplicación de conocimiento de electrónica y electricidad para las partes móviles y de control y finalmente todo lo adquirir para teórico y práctico a lo largo de la materia de robótica para poder crear un buen prototipo del robot

La idea de los mecanizados CNC es evitar errores a toda costa y pérdida de materia prima. Existen procesos que requieren de estricta precisión, y es algo que un maquinado CNC de calidad puede ofrecerte sin problemas y sin errores, con las exigencias que solicitas.

Al momento de cotizar precios para la adquisición de una de estas máquinas se tienen en cuenta los usos que a estas se les pueden dar y de qué manera se tiene planeado emplear una, partiendo de que existen máquinas CNC de tamaños compactos que de igual manera se pueden utilizar de manera profesional o industrial esto dependiendo de su diseño y componentes con los cuales ha sido fabricada, estas máquinas tienen precios desde los \$5,000.00 MXN hasta \$200,000.00 MXN siendo estos los costos a los que llegan máquinas industriales de gran calidad y de uso rudo.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

A continuación, se exponen los Atributos de Egreso logrados de acuerdo con el perfil de egreso del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

- Identificar, resolver y formular problemas de ingeniería mecatrónica aplicando conocimientos de ciencias básicas e ingeniería.
- Analizar, aplicar y proponer procesos de diseño de ingeniería que resulten proyectos mecatrónicos que cumplen las necesidades o requerimientos especificados
- Desarrollar y dirigir experimentación adecuada; analizar e interpretar los datos obtenidos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones.
- Comunicarse de manera afectiva con diferentes audiencias de forma oral y escrita
- Reconocer sus responsabilidades éticas y profesionales en situaciones relevantes para la ingeniería y realizar juicios informados que deben considerar el impacto de las soluciones de ingeniería mecatrónica en los contextos global, económico, ambiental y social.
- Reconocer la necesidad permanente de incorporar conocimiento adicional y tener la habilidad para identificar aplicar, integrar y evaluar este conocimiento adecuadamente.
- Trabajar de forma eficaz y eficiente en equipos que establecen metas, planear tareas, cumplen fechas límite y analizan riesgos e incertidumbre.
- Innovar productos, procesos, equipos y sistemas mecatrónicos integrando tecnologías emergentes o de vanguardia.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Esteban, R. L. (2019). Diseño de un prototipo de maquina CNC para el fresado de piezas de madera. Arica: Universidad de Tarapacá.

García, A., & López, M. (2019). Control numérico de robots industriales. Revista de Automatización Industrial, 25(3), 45-58. DOI: 10.12345/rai.2019.25.3.123456

Johnson, R. T., & Lee, S. Y. (2022). Control numérico de robots industriales. Revista de Ingeniería Mecánica, 15(2), 45-62.

Martínez, L. S. (2021). Diseño y construcción de un robot CN para aplicaciones industriales (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

González, A. R., & López, M. J. (2023). Desarrollo de un sistema de control para un robot CN. En Actas de la Conferencia Internacional de Robótica Avanzada (pp. 123-137). Barcelona, España: Editorial Robótica.

Smith, J. (2020). Robótica Industrial: Fundamentos y Aplicaciones. Ciudad de México: Editorial Tecnológica.

Rodríguez, P., & Martínez, L. (2022). Programación de movimientos en robots CNC. En J. Pérez (Ed.), Actas de la Conferencia Internacional de Robótica Industrial (pp. 78-90). Barcelona: Editorial Robótica Avanzada.

Robots Industriales S.A. (2021). Ventajas y aplicaciones de los robots CNC. Recuperado de <https://www.robotsindustriales.com/articulo/ventajas-aplicaciones-robots-cnc>

García, M. J. (2022). Optimización del proceso de fresado CNC para reducir la generación de residuos (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia.

Técnicas CNC. (2023). Reducción de residuos en fresadoras CNC [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=abcdefghijk>

Pérez, R. (2022). Sistema de control de residuos en fresadoras CNC (Patente No. US1234567). Estados Unidos.

Hernández, L. M. (2023). Análisis de los residuos generados por fresadoras CNC de 5 ejes. Revista de Tecnología Industrial, 15(3), 78-91. <https://doi.org/10.12345/rti.2023.15.3.78>

Peterson, Z. (2020). ¿Qué es una placa PCB o placa de circuito impreso? Recuperado de <https://resources.altium.com/es/p/what-is-a-pcb>

Garrigues, M. (2020). CNC Control Numérico, ¿En Qué Consiste? Recuperado de <https://www.mecanizadosgarrigues.es/blog/cnc-control-numerico-en-que-consiste/>

Robotnik. (s.f.). Historia de los robots y la robótica. Recuperado de <https://robotnik.eu/es/historia-de-los-robots-y-la-robotica/>

EDS Robotics. (s.f.). ¿Qué es la robótica? Recuperado de <https://www.edsrobotics.com/blog/que-es-la-robotica/>

[Autor desconocido]. (s.f.). Título del documento. Recuperado de https://docs.google.com/document/edit?id=1re4FPQSm2d5Oedp9ei70PGTB0GGdR_BldHJmgYNS6G0&hl=en

Cortec. (s.f.). ¿Para qué sirve una fresadora CNC y cuáles son sus características? Recuperado de <https://cortec.es/fresadora-cnc-sirve-caracteristicas/>

Universidad Don Bosco. (2020). Fundamentos de Robótica. Guía 4. Recuperado de https://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/electronica-ingenieria/fundamentos-de-robotica/2020/i/guia-4.pdf

[Autor desconocido]. (s.f.). Título del documento. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30055>

MaquinaDoCNC. (s.f.). La importancia de la calidad del maquinado CNC. Recuperado de <https://maquinadocnc.com.mx/la-importancia-de-la-calidad-del-maquinado-cnc/#:~:text=Los%20procesos%20que%20se%20realizan,fresado%2C%20taladrado%2C%20entre%20otros.>

[Autor desconocido]. (s.f.). Título del documento. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30055>

Inkscape. (s.f.). Tutoriales. Recuperado de <https://inkscape.org/es/learn/tutorials/>

Revista Tekhnê. (2019). Fundamentos de Robótica Industrial y Móvil. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tekhne/article/view/10439>

SOMIM. (2017). Control de Formación de Robots Móviles Diferenciales. Recuperado de http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A2_201.pdf

[Autor desconocido]. (s.f.). Título del documento. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Moises-Garcia-8/publication/268074034_Obtencion_de_Codigo_G_del_Contorno_mas_Representativo_en_una_Imagen_Aplicando_Ajuste_de_Puntos_2D_a_Arcos/links/546096250cf27487b4510254/Obtencion-de-Codigo-G-del-Contorno-mas-Representativo-en-una-Imagen-Aplicando-Ajuste-de-Puntos-2D-a-Arcos.pdf

Universidad Politécnica Salesiana. (s.f.). Título del documento. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24006>

ScienceDirect. (s.f.). Título del artículo. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584522001156>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2017). Título del artículo. Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/9297>

[Autor desconocido]. (s.f.). Título del documento. Recuperado de <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/9649>

[Autor desconocido]. (s.f.). Título del documento. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Julian-Alejandro-Hernandez-Gallardo/publication/367043908_CONTROL_DE_FORMACION_DE_ROBOTS_MOVILES_DIFERENCIALES/links/63beded57ecd35045c3d5c72/CONTROL-DE-FORMACION-DE-ROBOTS-MOVILES-DIFERENCIALES.pdf

[Autor desconocido]. (s.f.). Título del documento. Recuperado de <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/9687>

ANEXOS

Materiales para emplear

➤ **Arduino uno**

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Es decir, una forma sencilla de realizar proyectos interactivos para cualquier persona.

Basada en la filosofía del software libre, Arduino es una plataforma de electrónica «open-source» o de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Básicamente lo que permite esta herramienta es la generación de infinidad de tipos de microordenadores de una sola placa, que luego pueden tener una amplia variedad de usos según la necesidad de la persona que lo cree. Es decir, una forma sencilla de realizar proyectos interactivos para cualquier persona así lo declara Massimo Banzi Co-founder, Chairman & CMO y David Cuartielles Co-founder & Content Lead de Arduino.CC

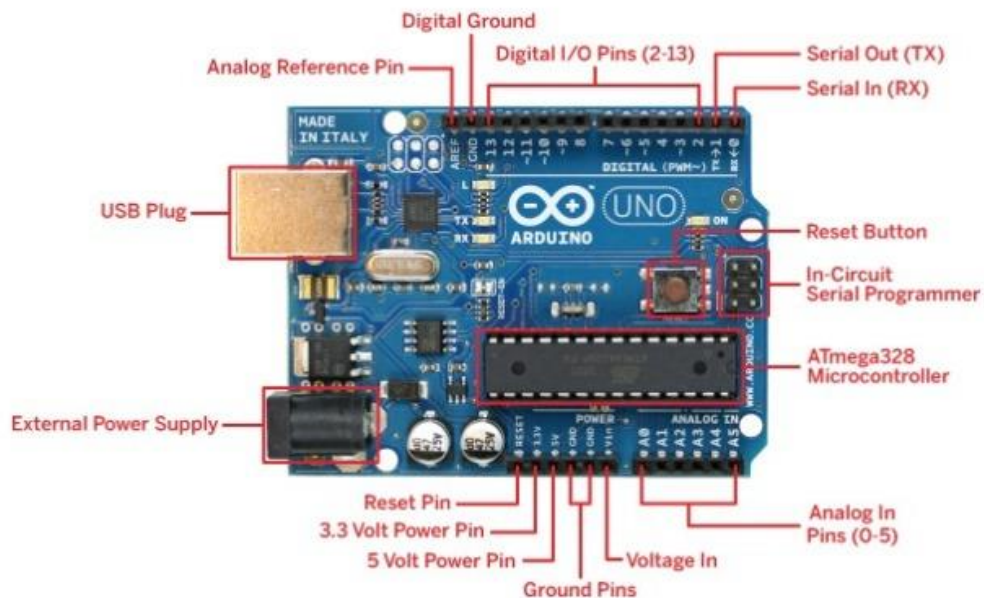


Ilustración 50: Arduino 1, autor desconocido, 2018

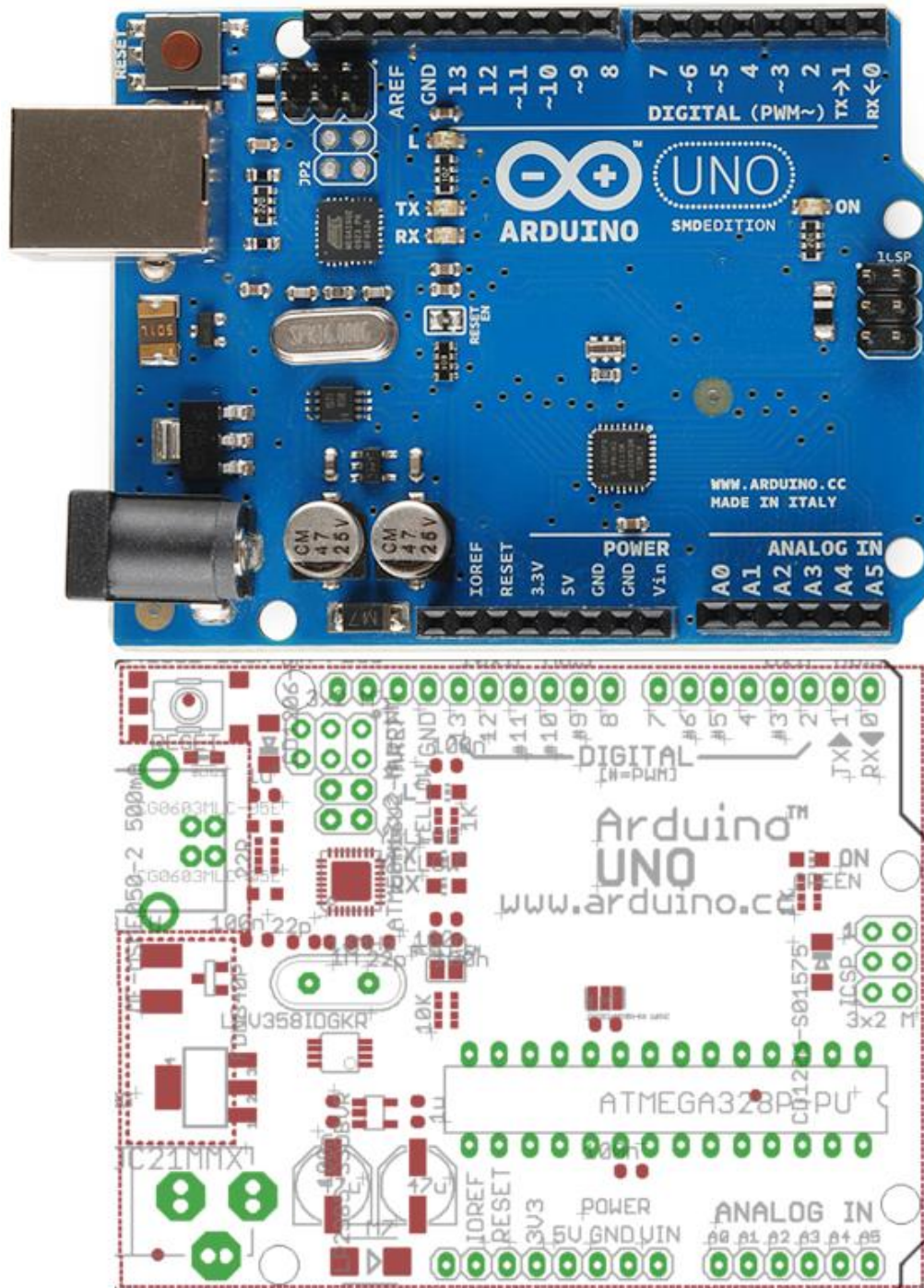


Ilustración 51: esquemática del Arduino 1, aprendiendo Arduino, 2017

➤ CNC shield

ESPECIFICACIONES

Voltaje de alimentación (potencia):	12V DC
Incluye regulador de voltaje 3.3V en placa	Si
Compatible con GRBL (Firmware OpenSource para Arduino que convierte código-G en comandos para motores Paso a Paso)	si
Compatible con Arduino:	Nano CH340 micro-USB, Nano CH340 mini-USB
Soporta 3 Ejes independientes (X, Y, Z)	Si
Diseñado para drivers PaP:	Pololu A4988 o DRV8825
Conexión de Motores	header hembra o Molex hembra de 4 pines
Conexiones	hasta 6 sensor de final de carrera
Habilitador y dirección de Spindle	Si
Habilitador de refrigerante (coolant)	Si
Conexión para BUS I2C y Serial Uart	Si

Tabla 4 especificaciones de CNC Shield

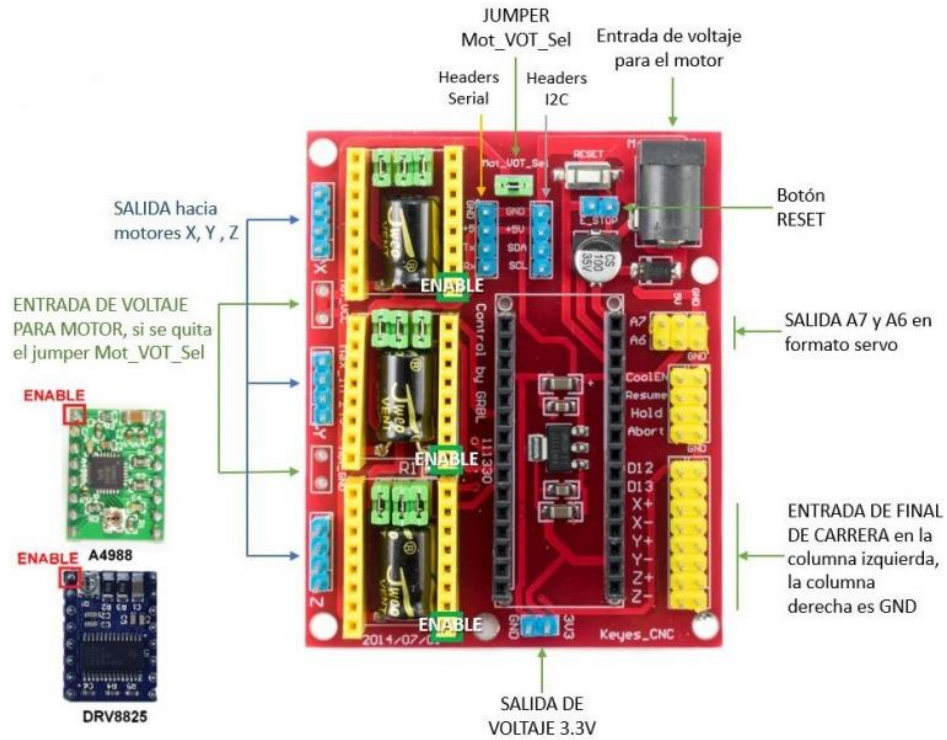


Ilustración 52: CNC shield, Aelectrics , 2023

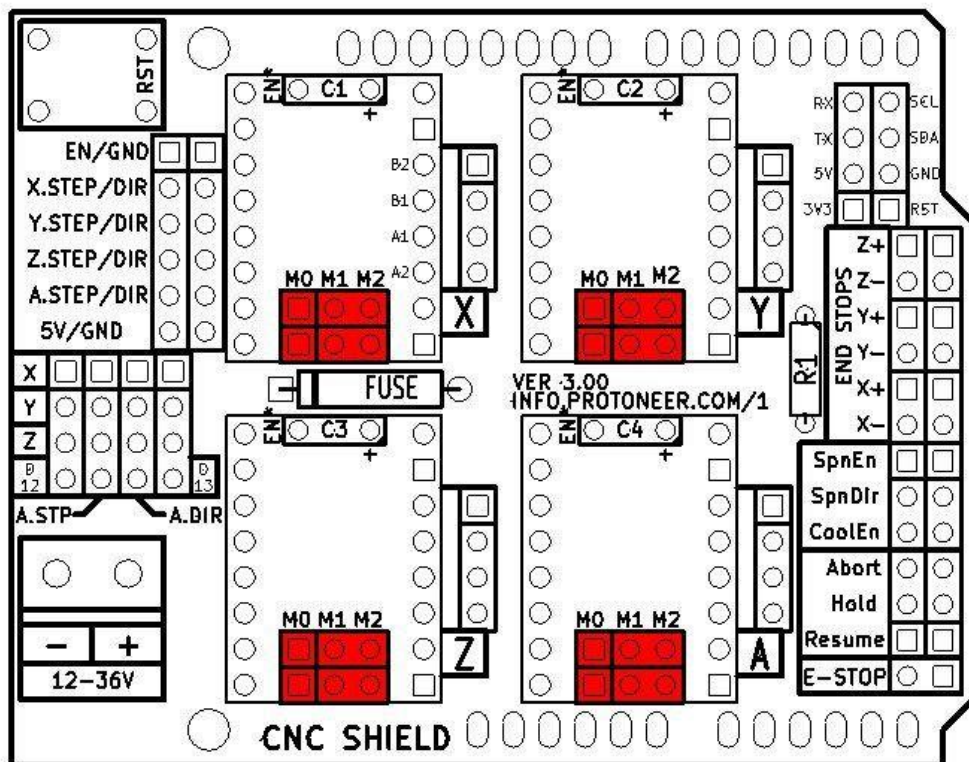


Ilustración 53: esquemática CNC shield para Arduino 1, inngtecvarduino, 2017

➤ Drivers A4988

Características Clave Del Controlador:
Interfaz de control de paso y dirección simple.
6 resoluciones de pasos diferentes; paso completo, 1/2-paso, 1/4-paso, 1/8-paso, 1/16-paso y 1/32-paso
Control de corte inteligente que selecciona automáticamente el modo correcto de caída de corriente (decaimiento rápido o decaimiento lento).
Desconexión térmica, bloqueo de bajo voltaje y protección contra cortocircuitos y carga en cortocircuito.
El control de corriente ajustable le permite configurar la salida de corriente máxima con un potenciómetro, que le permite usar voltajes por encima del voltaje nominal de su motor paso a paso para lograr tasas de pasos más altas.

Tabla 5 características de Driver A4988

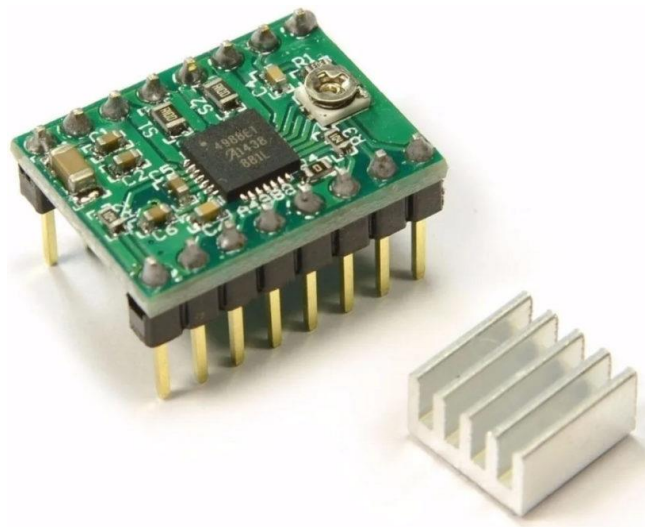


Ilustración 54: Drivers A4988, Vicente García, 2020

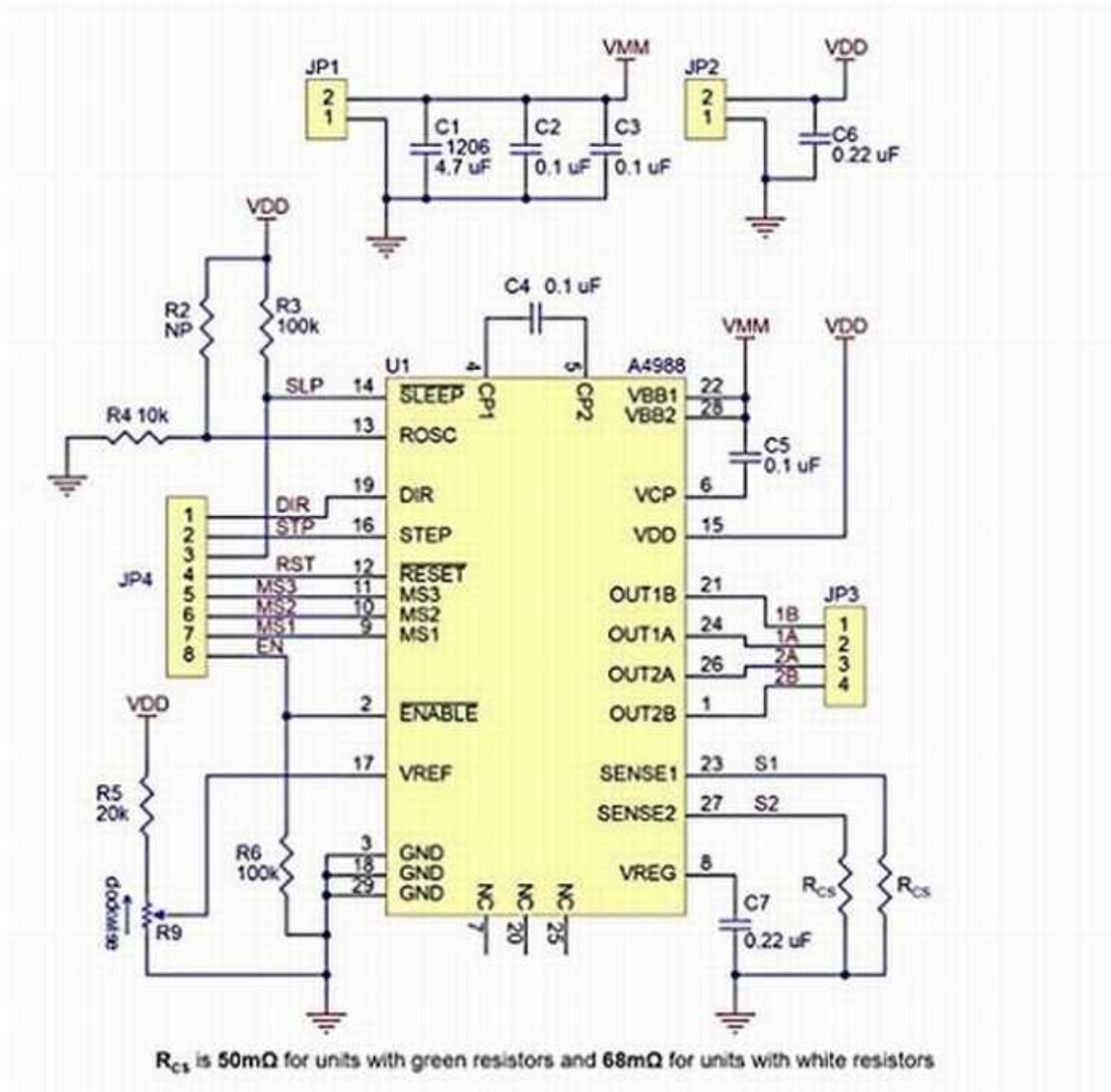


Ilustración 55: esquemático Drivers A4988, Vicente García, 2020

➤ Moto tool

Especificaciones:

Material	metal + componentes electrónicos.
Torsión	530 g/cm.
Velocidad sin carga	12000 rpm.
Tipo de enchufe	enchufe estadounidense
Velocidad de carga	8000 rpm
Voltaje de entrada	110 ~ 220 V.
Tamaño de la caja (largo x ancho x alto)	aprox. 21,5 cm x 14,5 cm x 7,3 cm.
Consumo de energía	12 V CC, 500 mAh
Peso aproximado	458 g.
Diámetro interior del collar	0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 3,0 mm.
Diámetro de taladro	0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 3,0 mm.

Tabla 6: Características del Moto Tool



Ilustración 56: Moto tool Yosoo, Amazon, 2023

➤ **Motores nema 17 de 2 amperes 200 pulsos por vuelta**

Especificaciones técnicas del motor paso a paso NEMA 17	
Motor con el eje pre aplanado para una tracción perfecta	
Cableado	conectores de 1 metro de longitud
Eje	5 x 23 mm2 (0.197 x 0.906 in)
Polos	2
pasos por revolución	200 y 1. 8°
Torca de sujeción	de 3.7 kg·cm (57 oz·in)
Corriente por fase	1.68 A
Resistencia	1.65 Ohmios/fase
Inductancia	3.6 mH/fase
Inercia del rotor	de 1.90 oz/cm2
Dimensiones	42 x 42 x 40 mm3 (1,654 x 1,654 x 1,575 in)

Tabla 7: Características de motores nema 17

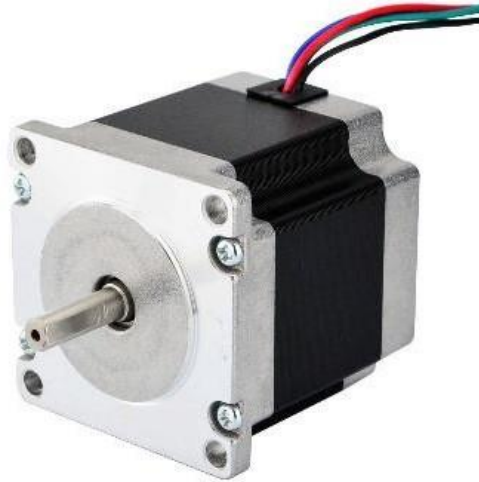
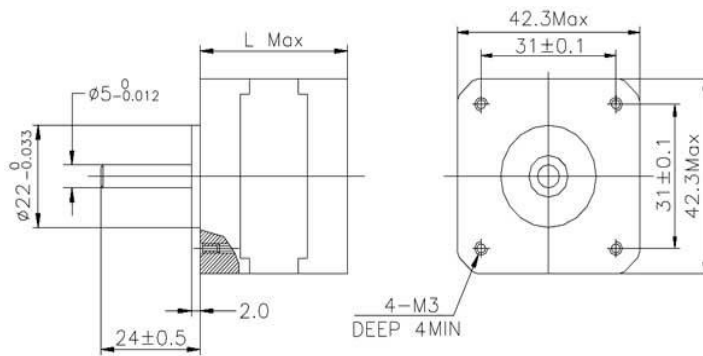


Ilustración 57: Motor nema 17, Autor Desconocido, 2023



Model	Length
17HS2XXX	28 mm
17HS3XXX	34 mm
17HS4XXX	40 mm
17HS8XXX	48 mm
17HS6XXX	60 mm

Ilustración 58: Medidas motor nema 17, hta3d , 2020

➤ **Chumaceras**

Citando a SADI Transmisiones S.L. Se conoce con el nombre de chumacera a un cuerpo de acero moldeado que consta de unos orificios destinados a fijar el cuerpo a la máquina o superficie. Es dentro del cuerpo de la chumacera donde se aloja el rodamiento de manera directa.

Así mismo, en cuanto a sus tipos, una chumacera puede ser de pedestal, también conocida bajo el nombre de clásica, y que va fijada al cuerpo de la máquina, de pared, tipo brida y tensora.

ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS

Tipo	Chumacera
Modelo	KP08
Material	Aleación de Zinc
Dimensiones:	55mm x 28mm x 13mm
Diámetro interior	8mm
Orificios para tornillos de sujeción:	M4
Cuenta con dos opresores para fijar Tornillo o Flecha	Si
Medida de llave hexagonal para opresores	1.5mm
Peso	30g
No se incluye llave hexagonal	

Tabla 8 Especificaciones de las chumaceras



Ilustración 59: KP08, UNIT electrics., 2023

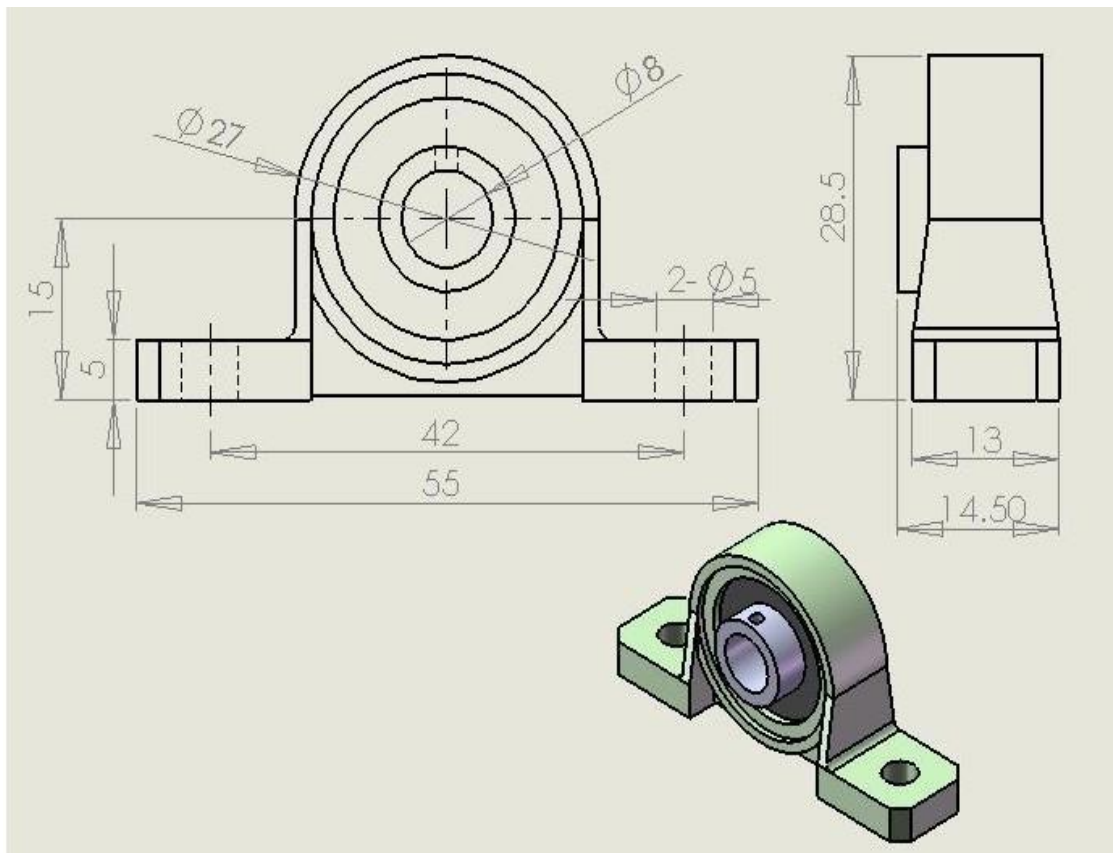


Ilustración 60: plano KP08 , Naylamp Mechatronics SAC., 2023

➤ SOPORTE GUÍA LINEAL D8MM - SK8

DESCRIPCIÓN

Soporte para guías lineales circulares de 8mm de diámetro. Montaje tipo piso: el soporte se sujeta a una superficie paralela al eje guía utilizando 2 tornillos M5. Para sujetar la guía lineal se utiliza un tornillo Allen M4.

Compatible con la guía lineal circular D8mm de L300mm y L500mm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Diámetro interior:	8mm
Dimensiones:	42*14*32.8mm
Montaje para piso	Si
Tornillo sujeción eje:	M4
Tornillos de anclaje:	M5
Peso:	24 gramos
Material:	Aluminio
Acabado Superficial:	Mate

Tabla 9 Especificaciones técnicas



Ilustración 61: SK8, Naylamp Mechatronics SAC., 2023

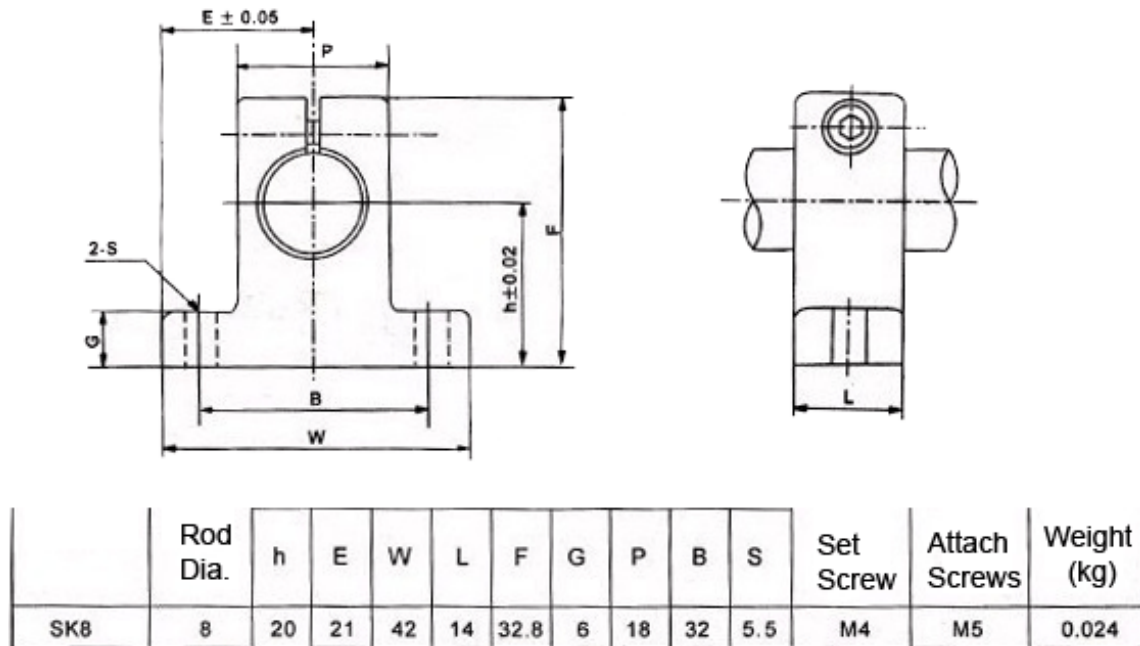


Ilustración 62: SK8, Naylamp Mechatronics SAC., 2023

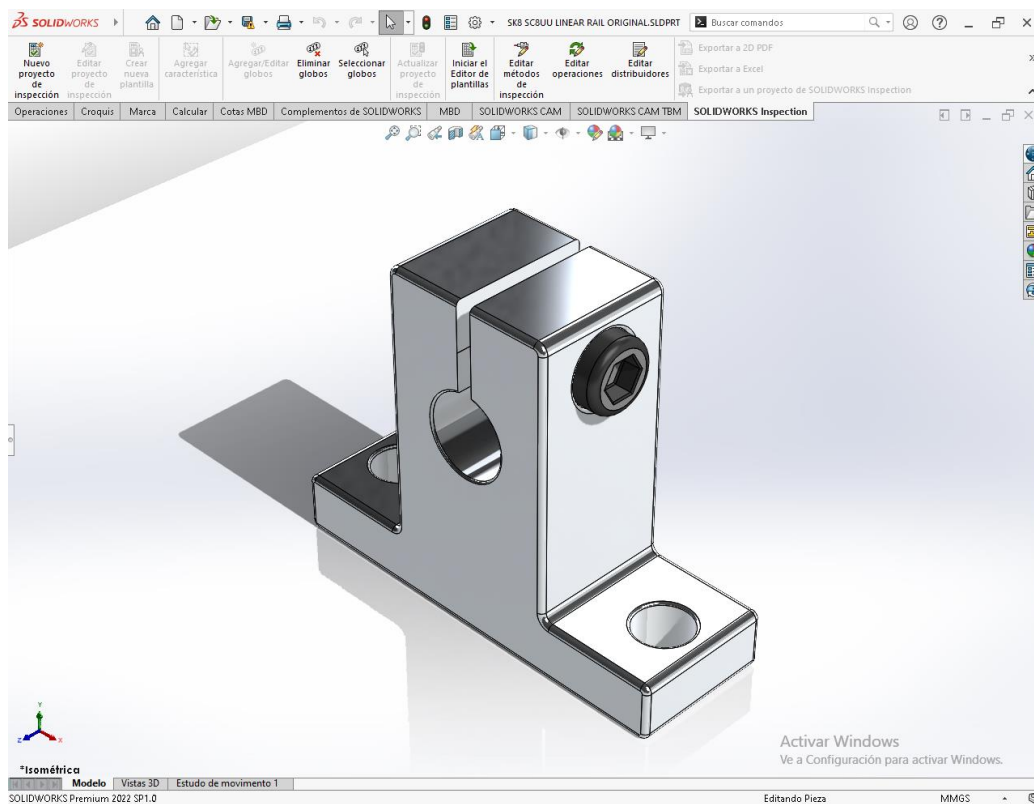


Ilustración 63: SK8, Thiago Santos, 2018

RODAMIENTO LINEAL D8MM - SC8UU

DESCRIPCIÓN

Rodamiento lineal D8mm - SC8UU es ideal para aplicaciones de movimiento/deslizamiento lineal. Trabaja sobre guías lineales de 8mm de diámetro. El rodamiento posee internamente unas hileras donde recirculan unas pequeñas bolas de acero que permiten un movimiento lineal suave y sin juego. Muy utilizado en sistemas CNC como impresoras 3D, plotters, fresadoras y más. Compatible con la guía lineal circular D8mm de L300mm y L500mm. El soporte posee agujeros para 4 tornillos M4 permitiendo acoplar rápidamente a la estructura deslizante.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Modelo:	SC8UU
Fabricante:	Genérico
Diámetro Interior:	8mm
Longitud:	30mm
Alto:	22mm
Ancho:	34mm
Carga dinámica C:	260N
Carga estática Co:	400N
Material soporte:	Aluminio
Acabado:	Mate
Agujeros roscados para tornillos M4	4
Peso:	47 gramos

Tabla 10 Especificaciones de rodamiento lineal



Ilustración 64: SC8UU, Naylamp Mechatronics SAC., 2023

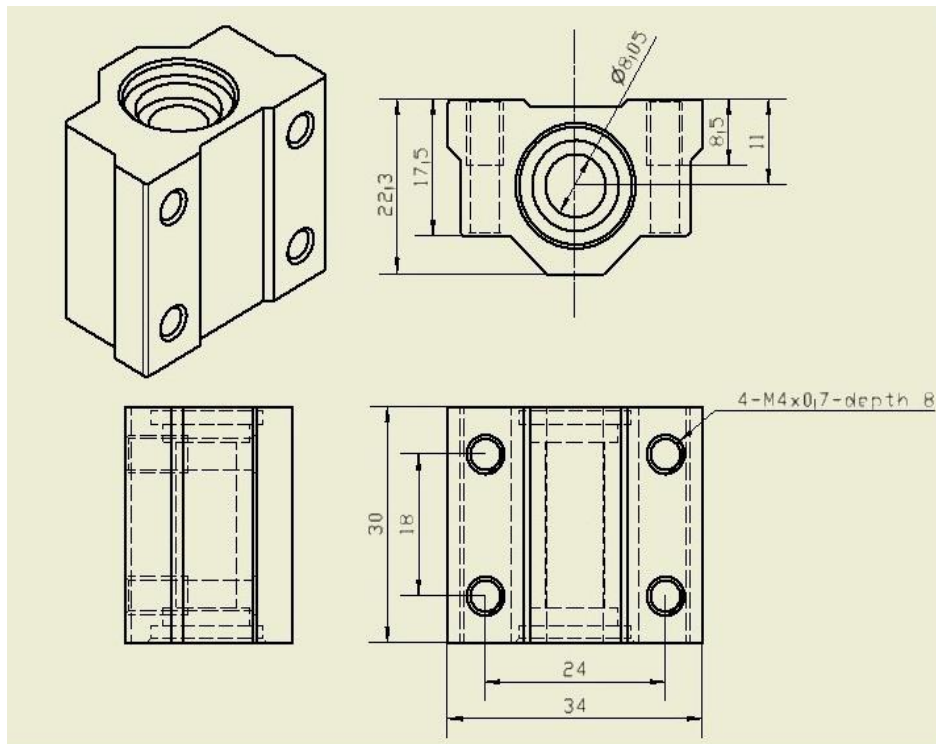


Ilustración 65: SC8UU, Naylamp Mechatronics SAC., 2023

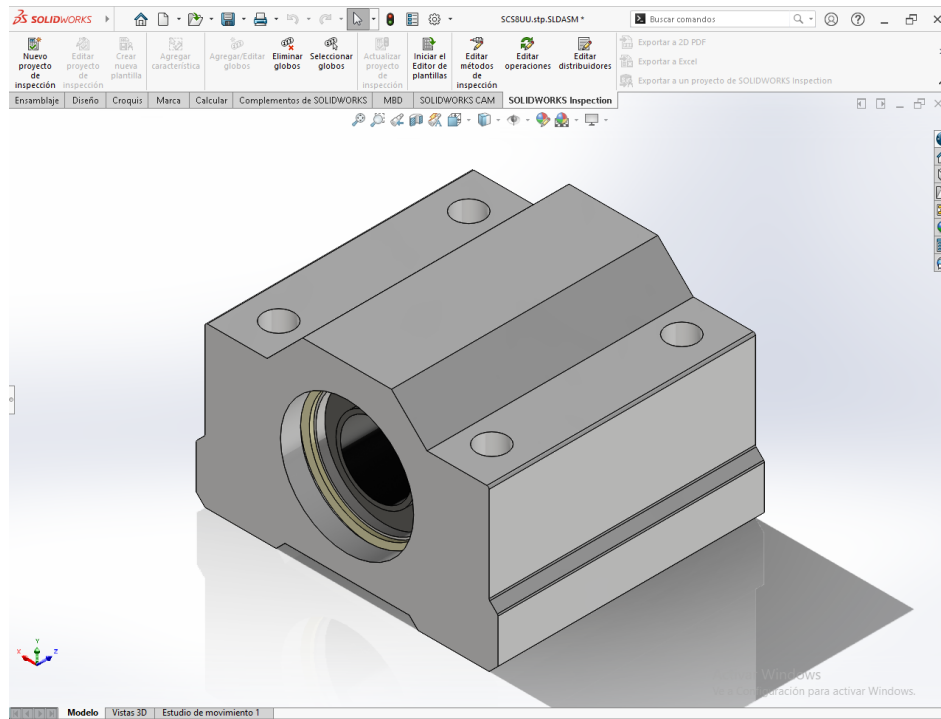


Ilustración 66: SC8UU, Thiago Santos, 2018

➤ GUÍA LINEAL D8MM L500MM

DESCRIPCIÓN

Guía lineal circular fabricada en acero inoxidable y con un acabado superficial especial para una menor fricción al movimiento. Adecuada para deslizamiento/desplazamiento lineal de ejes X/Y/Z en sistemas CNC, Impresoras 3D y aplicaciones de movimiento lineal.

Compatible con los rodamientos lineales:	LM8UU, LM8LUU, SC8UU, SC8LUU, polimérico RJ4JP-01-08
Los soportes recomendados para la guía son:	SHF8 (pared), SK8 (piso)
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Material:	Acero Inoxidable
Diámetro:	8mm
Longitud:	500mm
Extremos chaflanados	Si
Acabado superficial:	Brillante
Tratamiento para mayor durabilidad	menor desgaste por rodamientos.

Tabla 11 Guía Lineal



Ilustración 67: Guía lineal, Naylamp Mechatronics SAC., 2023

➤ Perfil de aluminio

Ranura del perfil	6mm
Dimensiones de retículo [mm]	20
Medidas	20x20
Tipo de perfil	Estándar
Ranuras abiertas	4
Longitud [Lmax] [mm]	3000
Unidad de suministro	20
Superficie del perfil [A] [cm ²]	1.6
Abreviatura del producto	20x20 -/-
Momento de resistencia en dirección Y [Wy] [cm ³]	0.7
Momento de inercia de la superficie en dirección Y [Iy] [cm ⁴]	0.7
Momento de inercia torsional [It] [cm ⁴]	0.08
Momento de inercia torsional [It] [cm ⁴]	0.7
Momento de resistencia en dirección X [Wx] [cm ³]	0.7
Momento de inercia de la superficie en dirección X [Ix] [cm ⁴]	0.17
Momento de resistencia a la torsión [Wt] [cm ³]	0.17
Peso [kg]	34g

Tabla 12 Perfil de aluminio



Ilustración 68: Perfil de aluminio 20x20mm, autor desconocido, 2020

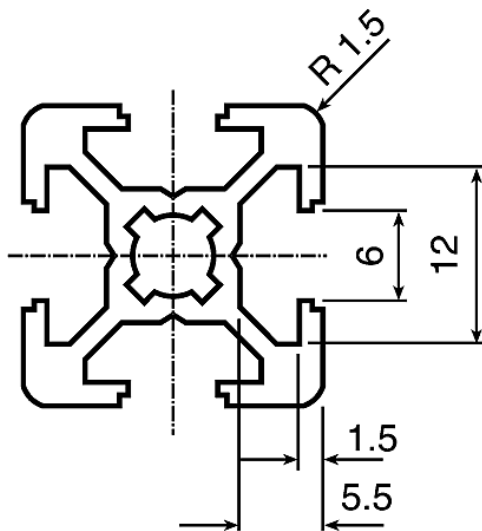


Ilustración 69: Plano perfil de aluminio, Bosch Rexroth, 2020

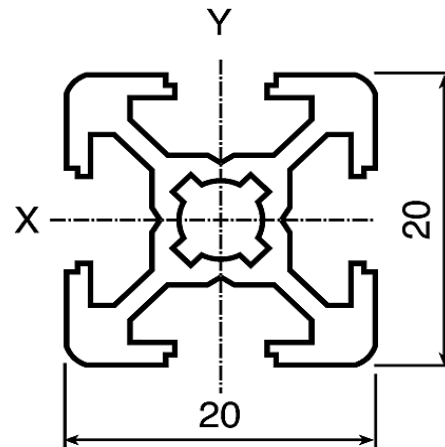


Ilustración 70: planos perfil de aluminio, Bosch Rexroth, 2020

➤ Fuente de voltaje

Principales Características:

Modelo	S-120-12
Fuente de Voltaje Suicheada (Salida)	12VDC / 10A
Voltaje de Entrada	100VAC ~ 240VAC
Frecuencia de Entrada	50 Hz / 60 Hz
Protección contra corto circuito	Si
Protección contra sobrecargas	Si
Temperatura de Funcionamiento	-10 °C ~ 50 °C
Humedad Relativa de Funcionamiento	20% ~ 90%

Tabla 13 Fuente de voltaje



Ilustración 71: Fuente de voltaje 12v a 10^a, Zamux Electrónica, 2023

➤ Acople Flexible De Aluminio De 5 a 8mm

Datos Técnicos

Diámetros interiores	5mm a 8mm
Dimensiones	Largo 25mm y Diámetro exterior 18mm
Tornillo de fijación (DIN913)	M4 (llave Allen #2)
Peso	15 gramos
Material	Aluminio

Tabla 14 Acople flexible de Aluminio



Ilustración 72: Acople flexible, Electrónica THIDO, 2021

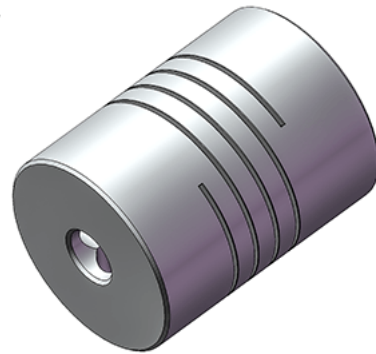
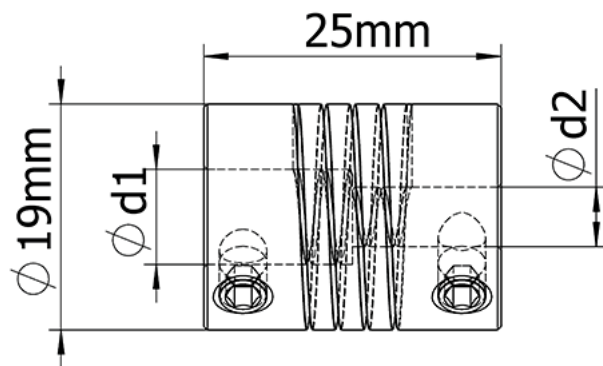


Ilustración 73: plano acople flexible, ELECTRONILAB, 2023

➤ Tornillo ACME 8mm con Tuerca T8

ESPECIFICACIONES Y CARACTERISTICAS

Tipo	Tornillo ACME 8mm
Diámetro	8mm
Paso	2mm
Longitud	Disponible en 15cm, 25cm, 30cm, 50cm y 60cm
Incluyen tuerca T8	Si
Material	Acero inoxidable 304
incorpora rebabas	No
Fuerza uniforme	Si
Desplazamiento lineal	Si
Aplicaciones	Impresoras 3D, CNC y otros sistemas de movimiento

Tabla 15 Tornillo ACME

DIMENSIONES
Tornillo Acme 8mm con Tuerca T8

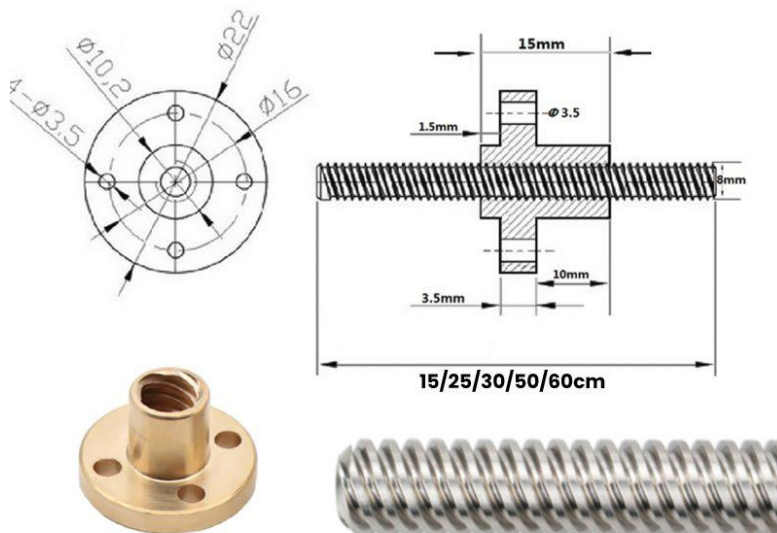


Ilustración 74: Plano tornillo ACME y tuerca t8, UNITELECTRICS, 2023

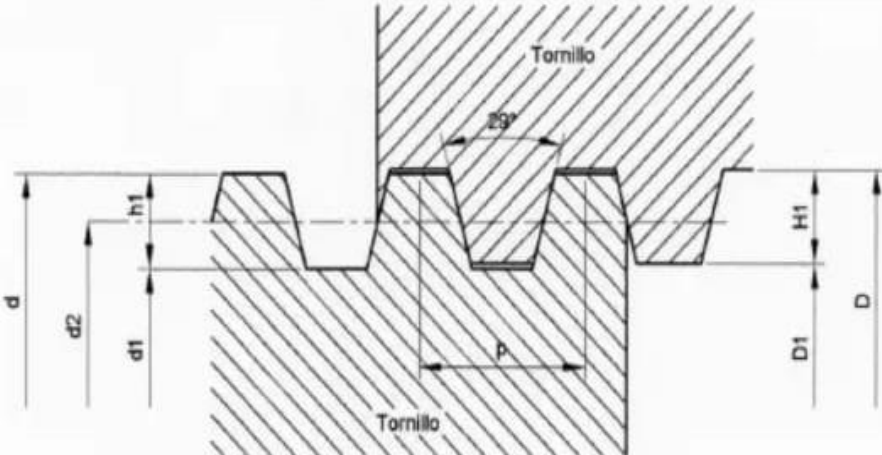
ROSCA ACME AMERICAN STANDARD						
						
Diámetro mayor (in)	Diámetro mayor (mm)	Hilos por pulgada	Paso de rosca (mm)	Diámetro de paso (mm)	Diámetro menor (mm)	Área de esfuerzo a tracción (mm ²)
1/4	6,350	16	1,600	5,563	4,775	20,645
5/16	7,950	14	1,803	7,036	6,121	34,193
3/8	9,525	12	2,108	8,458	7,417	49,677
7/16	11,125	12	2,108	10,058	8,992	70,968
1/2	12,700	10	2,540	11,430	10,160	91,613
5/8	15,875	8	3,175	14,300	12,700	143,226
3/4	19,050	6	4,242	16,942	14,808	198,064
7/8	22,225	6	4,242	20,117	17,983	285,161
1	25,400	5	5,080	22,860	20,320	366,451
1 1/8	28,575	5	5,080	26,035	23,495	481,935
1 1/4	31,750	5	5,080	29,210	26,670	612,902
1 3/8	34,925	4	6,350	31,750	28,575	714,837
1 1/2	38,100	4	6,350	34,925	31,750	872,901
1 3/4	44,450	4	6,350	41,275	38,100	1237,417
2	50,800	4	6,350	47,625	44,450	1664,513
2 1/4	57,150	3	8,458	52,908	48,692	2027,093
2 1/2	63,500	3	8,458	59,258	55,042	2565,156
2 3/4	69,850	3	8,458	65,608	61,392	3167,090
3	76,200	2	12,700	69,850	63,500	3491,606
3 1/2	88,900	2	12,700	82,550	76,200	4948,377
4	101,600	2	12,700	95,250	88,900	6658,696
4 1/2	114,300	2	12,700	107,950	101,600	8621,918
5	127,000	2	12,700	120,650	114,300	10838,688

Ilustración 75: tabla de estándares para rosca acmé, autor desconocido, 2023

➤ Tornillería

1.Material: acero inoxidable A2-70 304.

2.Tornillos y tuercas M3 M4 M5



Ilustración 76: tornillería utilizada, autor desconocido, 2023

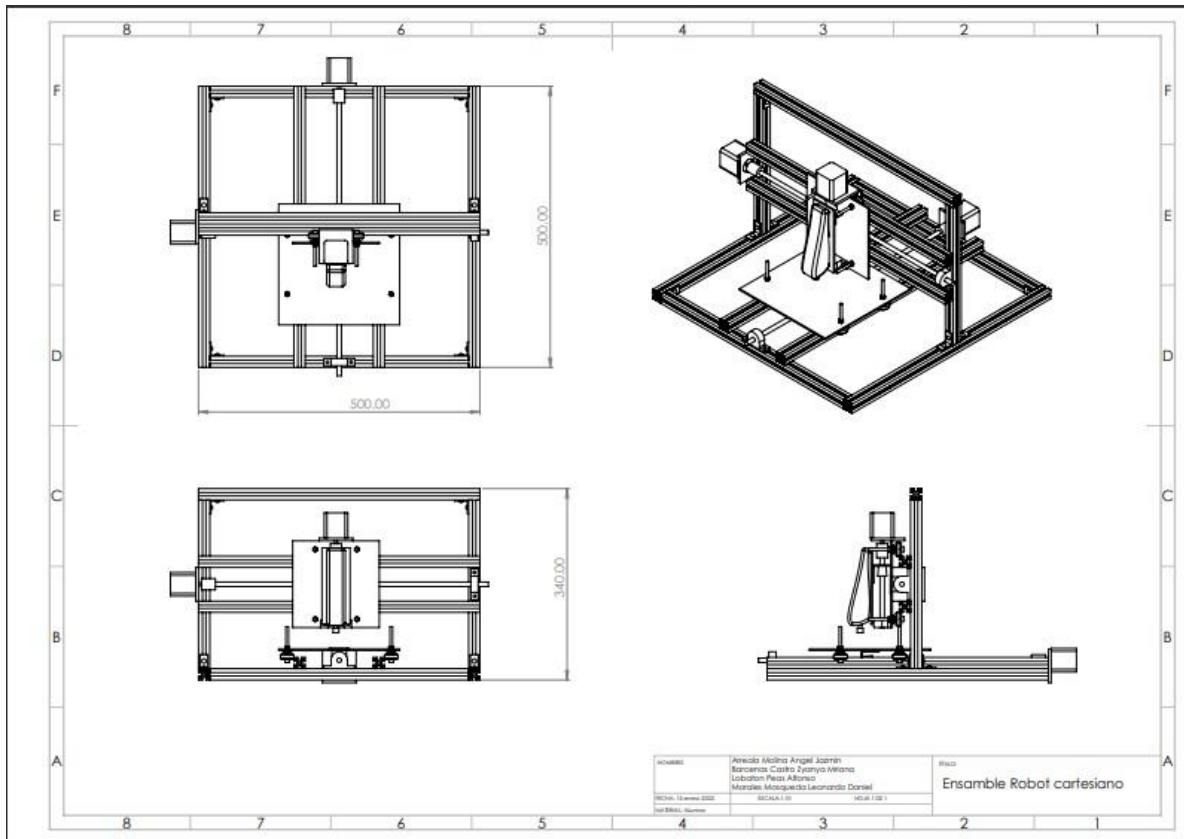


Ilustración 77: Plano de ensamble de robot CNC, Leonardo M. y Angelica A., 2023