
Construcción y puesta en marcha de una máquina de roscado de recipientes para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

José Eduardo Orellana Enríquez



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Construcción y puesta en marcha de una máquina de roscado
de recipientes para el laboratorio de Automatización
Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por José Eduardo Orellana Enríquez
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




**Construcción y puesta en marcha de una máquina de roscado
de recipientes para el laboratorio de Automatización
Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por José Eduardo Orellana Enríquez
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica


Guatemala,

2024


Vo.Bo.:

(f) 
M. Sc. Carlos Esquit

Tribunal Examinador:

(f) 
M.Sc. Carlos Esquit

(f) 
M. Sc. Miguel Enrique Zea Arenales

(f) 
Ing. Kurt Emmanuel Kellner

Fecha de aprobación: Guatemala, 13 de febrero de 2025.

Agradezco a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza durante todo este proceso. Sin su bendición y dirección, no habría sido posible llegar hasta aquí. A mis padres, Erick y Sayra, por su amor incondicional, por siempre brindarme su apoyo en cada paso de mi vida, y por ser la fuente constante de motivación que me ha permitido llegar hasta aquí. A mi asesor, Pedro Castillo, por su orientación y valiosos consejos a lo largo de todo el proceso. Su conocimiento y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Agradezco profundamente al Ingeniero Luis Cifuentes, quien generosamente donó materiales y me brindó su asesoría técnica, facilitando la realización de este proyecto. A mi novia Mariana, por su apoyo incondicional y por estar a mi lado en cada momento, entendiendo mis tiempos y siempre brindándome el aliento necesario para seguir adelante. Finalmente quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis, cuya culminación no habría sido posible sin su apoyo y colaboración.

Prefacio	III
Lista de figuras	VII
Lista de cuadros	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1. Festo Didactic	3
2.2. Estación AMATROL 87-TMS3	4
2.3. Máquina de roscado de envases	5
3. Justificación	7
4. Objetivos	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos específicos	9
5. Alcance	10
6. Marco teórico	11
6.1. PLC	11
6.1.1. Arquitectura de un PLC	11
6.1.2. Aplicaciones del PLC	11
6.2. Pistón	12
6.3. Perfiles T-Slot	12
6.3.1. Propiedades mecánicas	13
6.4. Motor paso a paso NEMA23	13
6.4.1. Principio de funcionamiento	14

6.5. Driver TB6600	14
6.6. Lenguajes de programación para PLC	16
6.6.1. Lenguaje en lista de instrucciones	16
6.6.2. Ventajas del Lenguaje Ladder	16
6.7. Introducción a las líneas de producción	17
6.7.1. Sistemas de producción continuos	17
7. Adaptación de diseño	18
7.1. Banda transportadora	18
7.1.1. Análisis de costos y rendimiento	19
7.1.2. Comparación de funcionalidad	20
8. Ensamblaje de la máquina	21
8.1. Selección de perfiles de aluminio	21
8.2. Corte y rectificación de los perfiles	22
8.3. Piezas impresas en 3D para el ensamblaje	24
8.4. Ensamblaje de la estructura principal	25
8.5. Maquinado de componentes adicionales	26
8.6. Montaje final	28
9. Sistema neumático	30
9.1. Diseño neumático	30
9.2. Válvula neumática	31
9.3. Funcionamiento del sistema neumático	32
10. Programación de PLC	34
10.1. Descripción del proceso	34
10.2. Programación del PLC SIMATIC S7-300	35
10.3. Configuración de entradas y salidas	36
10.3.1. Diagrama de conexiones de la máquina	37
10.4. Algoritmo de Control	40
11. Conclusiones	42
12. Recomendaciones	43
13. Bibliografía	44
14. Anexos	46
14.1. Planos de construcción	46

Lista de figuras

1.	Estación FESTO Didactic[4]	3
2.	Sorting and Distribution Station 87-TMS3[5]	4
3.	Diseño final máquina de roscado[6]	6
4.	SIMENS S7-300	12
5.	Pistón Festo DSNU-S-20-200-P	12
6.	Perfil tipo T Slot de aluminio	13
7.	Motor NEMA23	14
8.	Driver TB6600	16
9.	Ejemplo código con lenguaje Ladder	17
10.	Banda transportadora marca MISUMI.	18
11.	Banda transportadora Moonshan.	19
12.	Perfiles de aluminio.	22
13.	Corte de perfiles	23
14.	Rectificando perfiles de aluminio	23
15.	Pieza 3D para unir T Slots de 30x30mm	24
16.	Diseño CAD de base para sensores	25
17.	Primera fase de ensamble	25
18.	Ensamble con rodamientos	26
19.	Tornillo sin fin	27
20.	Pieza de fijación de cilindros	27
21.	Ensamblaje de perfiles terminado.	28
22.	Ensamble terminado de la máquina	29
23.	Sistema de rosado completamente ensamblado	29
24.	Pistón Festo DSNU-S-20-200-P	30
25.	Válvula MFH-5-1/4-S-NPT	31
26.	Diagrama de válvula 5/2	31
27.	Simulación neumática realizada en FLUIDSIM PNEUMATICS	32
28.	Máquina ensamblada	33
29.	S7-300	34

30.	Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina roscadora	36
31.	Sensor capacitivo Omro E2K-X8ME1	37
32.	Entradas y salidas S7-300	37
33.	Diagrama de conexión para TB6600 a motor del tornillo sin fin	38
34.	Conexión Arduino Uno a PLC	39
35.	Conexiones de entras y salida digitales PLC a máquina	40
36.	Parte del código del proceso	41
37.	CAD máquina	46
38.	Ensamble transporte de tapaderas	47
39.	Ensamble eje	47
40.	Tornillo sin fin	48
41.	Sostén de eje	48
42.	Tolva cilíndrica	49
43.	Dispensador	49
44.	Sostén tolva	50
45.	Sostén circular	50
46.	Sostén angular	51
47.	Sostén pistón neumático	51
48.	Base sostén pistón neumático	52

Lista de cuadros

1.	Tabla de prueba	19
2.	Características de la banda transportadora	20
3.	Comparativa de las características de las bandas transportadoras Moonshan y Madrigales	20
4.	Tabla de cantidades de perfiles T-Slots y V-Slots	22
5.	Conexiones del controlador TB6600 a motor del tornillo sin fin	38
6.	Conexiones del controlador TB6600 a motor del sistema de roscado	39

Este trabajo describe el proceso de diseño, construcción y puesta en marcha de una máquina roscadora de envases para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. El objetivo principal fue proporcionar a los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica una herramienta educativa que les permita aprender sobre automatización industrial mediante el uso de componentes que se encuentran en la industria como PLCs, sensores y actuadores. La máquina integra un sistema neumático con control automatizado, utilizando componentes económicos y eficientes, como perfiles de aluminio, una banda transportadora de bajo costo y un compresor de alta eficiencia. Se presenta también un diseño adaptativo para mejorar la viabilidad económica sin sacrificar el rendimiento. A lo largo del proyecto se desarrollaron habilidades prácticas de programación en PLC, control neumático y mecanizado, facilitando el aprendizaje de los estudiantes en procesos industriales automatizados.

This project presents the design, construction, and implementation of a packaging screwing machine for the Industrial Automation laboratory at the University of Valle de Guatemala. The main objective was to provide Mechatronics Engineering students with an educational tool that allows them to learn about industrial automation through the use of components such as PLCs, sensors, and actuators. The machine integrates a pneumatic system with automated control, utilizing cost-effective and efficient components, such as aluminum profiles, a low-cost conveyor belt, and a high-efficiency compressor. Additionally, an adaptive design is included to improve economic feasibility without compromising performance. Throughout the project, students developed practical skills in PLC programming, pneumatic control, and machining, enhancing their learning in automated industrial processes.

En la actualidad, la automatización industrial se ha convertido en un pilar fundamental para el desarrollo de procesos productivos más eficientes y precisos. Las industrias requieren sistemas capaces de integrar tecnología avanzada para optimizar la producción, reducir costos y mejorar la calidad de los productos. La educación en automatización juega un papel crucial, ya que proporciona a los futuros profesionales las herramientas y conocimientos necesarios para cumplir con lo indispensable en la demanda tecnológica que existe.

Este trabajo de graduación tiene como objetivo el diseño, construcción y puesta en marcha de una máquina roscadora de envases para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. La implementación de esta máquina permitirá a los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica adquirir competencias en programación de Controladores Lógicos Programables (PLC), control neumático, diseño mecánico y montaje de sistemas automatizados.

El proyecto se basa en la necesidad de fortalecer la formación práctica de los estudiantes, facilitando su familiarización con las tecnologías utilizadas en la industria moderna. A través de la creación de una máquina funcional que simula un proceso industrial real, los estudiantes podrán interactuar directamente con los componentes del sistema, aprender sobre su integración y funcionamiento, y desarrollar habilidades prácticas que serán esenciales en su futura carrera profesional.

La máquina de roscado de envases diseñada en este trabajo es un ejemplo de un sistema automatizado que combina componentes mecánicos, electrónicos y neumáticos, los cuales se controlan de manera eficiente mediante un PLC. Además, se tomaron en cuenta aspectos clave como la selección de materiales, la optimización de costos y el rendimiento, asegurando que el diseño final fuera adecuado tanto desde el punto de vista educativo como económico.

Este trabajo aborda la construcción de la máquina, el diseño del sistema de control, la integración del sistema neumático y la programación del PLC, con el fin de crear una herramienta educativa de alta calidad que pueda ser utilizada como parte integral del programa académico de la Universidad del Valle de Guatemala.

La iniciativa académica de Automatización e Instrumentación Industrial en la Universidad del Valle de Guatemala ha experimentado diversas mejoras recientemente. El enfoque educativo y formativo está especialmente dirigido a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecatrónica y Electrónica. Esta iniciativa académica se encuentra dividido en dos partes. En el programa del curso de Automatización e Instrumentación Industrial I [1], se desarrolla la competencia de programación básica en el software Simatic Step7 [2] para el control y la medición de instrumentación en un proceso automatizado, permitiendo identificar sus aplicaciones y funcionalidades. Adicionalmente, se incluye la construcción de circuitos utilizando instrumentos electrónicos como medidores de flujo, medidores de presión, termómetros industriales, transductores de temperatura, sensores de nivel, y controladores de velocidad, así como la aplicación del análisis correspondiente para examinar e identificar el comportamiento de dichos instrumentos."

En Automatización e Instrumentación Industrial II[3] se desarrolla la competencia de implementar algoritmos para la pantalla HMI de Siemens, de sus siglas en inglés *Human Machine Interface*. Se utiliza un panel HMI que permite a un usuario comunicarse con una máquina que previamente fue automatizada. Estas máquinas pueden ser de roscado, de empaque entre otras. Utilizar las pantallas HMI las máquinas pueden estar proporcionando una interfaz de usuario. Posteriormente, se desarrolla la programación básica en el lenguaje de programación STL en el software SIMATIC STEP7, con el objetivo de controlar y medir instrumentación, identificando sus aplicaciones y funcionalidades. Adicionalmente, en la parte final de la iniciativa académica, se aborda el arranque de motores mediante el uso de variadores de frecuencia, los cuales son controlados por un PLC. Este enfoque permite a los estudiantes aprender sobre la integración de sistemas de control y la gestión eficiente de la velocidad de los motores en procesos automatizados.

2.1. Festo Didactic

Este proyecto objetivo principal proporcionar un entorno práctico y realista para el aprendizaje y la enseñanza de conceptos de automatización y tecnología industrial. La estación Festo Didactic está diseñada específicamente para ser utilizada en entornos educativos, donde los estudiantes pueden adquirir habilidades prácticas en un entorno que simula una línea de producción industrial. La estación permite a los estudiantes interactuar con equipos industriales reales, como robots, sensores y actuadores. La estación les brinda la oportunidad de aplicar conceptos teóricos en un entorno práctico.

La estación Festo Didactic es una herramienta educativa utilizada en la formación de estudiantes en el campo de la automatización y control industrial. Esta estación permite simular una línea de producción industrial, utilizando una variedad de sensores como sensores de proximidad, sensores de temperatura, y medidores de presión, entre otros. La función principal de la estación es proporcionar un entorno práctico para que los estudiantes comprendan el comportamiento de los sistemas automatizados en condiciones controladas. Esta estación puede simular una embotelladora, clasificadoras y entre otras procesos. A través de su uso, los estudiantes desarrollan competencias clave en la programación de PLCs, el análisis de sistemas de control, y la integración de diversos componentes electrónicos en procesos automatizados, lo cual les permite aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en situaciones reales de la industria.

La estación FESTO Didactic se integra de manera crucial en el proyecto a realizar como una herramienta esencial para el aprendizaje y la práctica en el ámbito de la automatización y la mecatrónica. Su implementación permite a los estudiantes y profesionales adquirir habilidades prácticas y teóricas que son vitales en el campo de la ingeniería moderna. La estación ofrece un entorno controlado y seguro donde se pueden simular y probar sistemas automatizados, permitiendo una comprensión profunda de los principios y técnicas utilizados en la industria.

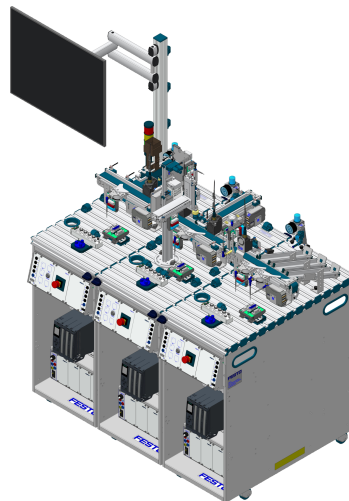


Figura 1: Estación FESTO Didactic[4]

2.2. Estación AMATROL 87-TMS3

La empresa AMATROL [5] desarrolló la Estación de Clasificación y Distribución (modelo 87-TMS3). El objetivo principal es brindar una herramienta de aprendizaje sobre sistemas de inventario gestionados por robots, los cuales garantizan un almacenamiento eficiente y organizado de materiales. La estación proporciona a los estudiantes una experiencia práctica y realista en la operación, programación y mantenimiento de sistemas industriales, incluyendo PLCs, robots, transportadores, y otros dispositivos comúnmente encontrados en las plantas de fabricación. Los usuarios de la estación AMATROL 87-TMS3 pueden desarrollar habilidades técnicas esenciales, como la capacidad de leer e interpretar diagramas eléctricos y neumáticos, programar sistemas de control automatizado, realizar diagnósticos de fallos y realizar ajustes y reparaciones en equipos industriales.

El uso de la estación AMATROL 87-TMS3 permite a los estudiantes desarrollar habilidades prácticas aplicables en la industria manufacturera, preparándolos mejor para ingresar al mercado laboral o avanzar en sus carreras profesionales.

Esta estación está equipada con un transportador, tres sensores industriales que son de parencia, color y peso. También incluye canales de clasificación, actuadores eléctricos de solenoide, un PLC AB1000, 10 entradas, 6 salidas y una variedad de componentes adicionales.

En general, la estación AMATROL 87-TMS3 funciona mediante un sistema de clasificación y distribución controlado por PLC, que es el corazón del proceso de automatización. El estudiante puede programar y controlar los movimientos de los robots, transportadores, y otros elementos como sensores y actuadores que conforman el sistema.

El sistema de aprendizaje FESTO Didactic, duradero y asequible, ofrece una solución eficiente para la formación en mecatrónica, especialmente en espacios limitados. El modelo 87-TMS3, completamente automatizado y operable de manera independiente, proporciona habilidades prácticas esenciales para carreras industriales, consolidándose como una plataforma integral de aprendizaje sobre una mesa como se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Sorting and Distribution Station 87-TMS3[5]

2.3. Máquina de roscado de envases

En el contexto del desarrollo de tecnologías educativas, el trabajo de Madrigles [6] representa una contribución significativa mediante el diseño de una máquina para roscar tapas, específicamente destinada a una línea de producción educativa en los laboratorios del Centro de Innovación y Tecnología (CIT) de la Universidad del Valle de Guatemala. Esta máquina es un componente clave dentro de una serie de procesos coordinados que, en conjunto, permiten la ejecución de las funciones específicas de una línea de producción de recipientes de plástico.

El proyecto se centró integralmente en el diseño de la máquina, estableciendo de manera exhaustiva las bases operativas, funcionales y de diseño necesarias para su funcionamiento futuro. Desde el inicio del proceso de diseño, se consideraron diversos aspectos críticos relacionados con el diseño mecánico, la funcionalidad y la integración del proceso específico de roscado de tapas dentro de la línea de producción. La metodología de diseño adoptada abordó tanto la ingeniería conceptual como los aspectos detallados de la fabricación y el ensamblaje de la máquina.

Durante el desarrollo del proyecto, surgieron diversas dificultades inherentes al diseño e implementación de la máquina. Entre los desafíos enfrentados se incluyen la selección adecuada de materiales, la precisión en la mecanización de las piezas, y la integración de sistemas mecánicos y electrónicos para asegurar el correcto funcionamiento del equipo. Estas limitaciones llevaron a explorar diferentes enfoques de diseño y a considerar múltiples alternativas en cuanto a funcionalidades y materiales. La meta principal fue alcanzar un diseño que no solo fuera funcional, sino también viable y eficiente tras la realización de pruebas exhaustivas.

El proceso de prototipado fue una etapa crucial del proyecto, culminando con la creación de tres prototipos principales. Cada iteración del prototipo permitió refinar y mejorar el diseño inicial, abordando problemas identificados en etapas anteriores y optimizando el rendimiento de la máquina. El diseño final, que se presenta en la Figura 3, refleja un prototipo que cumple con todas las especificaciones de diseño y funcionamiento previamente definidas, asegurando así su eficacia y aplicabilidad en un entorno educativo.

El funcionamiento de la máquina depende de su diseño y automatización. En una versión del diseño, el roscado se controla de manera neumática, utilizando un PLC para gestionar el proceso de cierre de las tapas. En una versión mecánica, el roscado se realiza mediante un motor que gira en dirección opuestas para aplicar el torque necesario. El control de la máquina es programable, lo que permite ajustes según las necesidades de producción. El diseño de la máquina contempla principalmente actuadores neumáticos para el accionamiento del mecanismo de roscado. Los cilindros neumáticos de 8 mm de diámetro y 16 mm de carrera son utilizados en el prototipo inicial para realizar el movimiento necesario en el proceso de roscado que sube y baja el mecanismo para lograr lo antes mencionado.

La importancia de este proyecto radica no solo en la creación de una máquina específica, sino en el establecimiento de un modelo educativo que integra tecnología avanzada en el aprendizaje práctico de los estudiantes. Al proporcionar una plataforma tangible para la aplicación de conceptos teóricos en un entorno de laboratorio, se promueve una comprensión más profunda y práctica de los principios de la ingeniería y la tecnología.

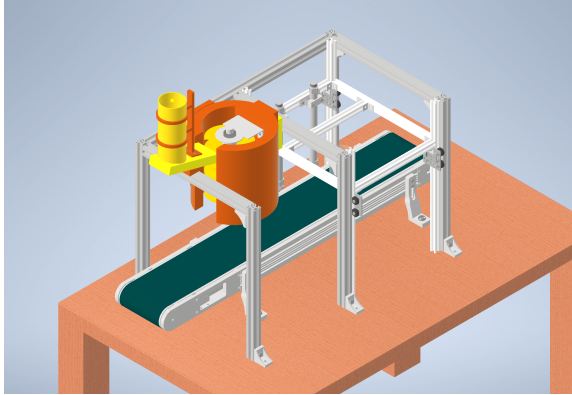


Figura 3: Diseño final máquina de roscado[6]

Guatemala, como país en vías de desarrollo, está experimentando un incremento significativo en la automatización de procesos industriales. Este crecimiento en la automatización industrial ha generado una demanda creciente de profesionales con conocimientos especializados en aplicaciones de control y procesos.

Es esencial que los estudiantes que aspiran a especializarse en la industria cuenten con oportunidades para interactuar con procesos industriales y adquirir habilidades prácticas en programación y control de estos sistemas. Para satisfacer esta necesidad, se ha decidido implementar una máquina de roscado con fines didácticos para el laboratorio de Instrumentación y Automatización de la Universidad del Valle de Guatemala, donde los estudiantes tendrán acceso a una máquina de roscado de tapaderas, la cual formará parte de una línea de producción a escala.

En este laboratorio, los estudiantes podrán observar y programar diversos componentes electrónicos, sensores y actuadores presentes en la máquina de roscado de envases. A través de esta experiencia práctica, los estudiantes adquirirán conocimientos específicos sobre el funcionamiento y mantenimiento de sistemas automatizados. Además, se familiarizarán con las siguientes habilidades y aprendizajes clave:

- Programación de Controladores Lógicos Programables (PLC): Los estudiantes aprenderán a programar PLCs, esenciales para la automatización de procesos industriales.
- Manejo de Sensores y Actuadores: Conocerán y manejarán diferentes tipos de sensores y actuadores, entendiendo su integración y funcionamiento en una línea de producción.
- Análisis y Solución de Problemas Técnicos: Desarrollarán habilidades para diagnosticar y resolver problemas técnicos que puedan surgir en sistemas automatizados.

La construcción y ensamblaje específico de la máquina de roscado de envases proporcionará a los estudiantes un entorno de aprendizaje práctico y realista. Este enfoque permitirá

una mejora significativa en el proceso educativo, preparando a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos tecnológicos y contribuir al desarrollo industrial del país. La interacción directa con componentes electrónicos, instrumentos y actuadores les brindará una comprensión profunda de los sistemas automatizados, lo que fortalecerá sus competencias y habilidades técnicas necesarias en el campo de la automatización industrial. industrial completamente controlado.

4.1. Objetivo general

- Construcción, ensamblaje y puesta en marcha de una máquina roscadora de recipientes con fines didácticos para el laboratorio de instrumentación y automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Adaptar y rediseñar la máquina roscadora de envases al seleccionar y comprar los materiales para su construcción.
- Construcción y ensamblaje de la máquina de roscado con sus sensores y actuadores en funcionamiento.
- Desarrollar un algoritmo para la programación del PLC de la máquina de roscado y ponerla en marcha.

Diseñar y construir una máquina roscadora automática de envases, integrando un sistema neumático y un controlador lógico programable (PLC) para asegurar la precisión y eficiencia en el proceso de roscado. El diseño propuesto contempla una solución que combina las etapas de posicionamiento y roscado de tapaderas en una sola máquina, optimizando los recursos y mejorando el rendimiento del proceso.

Para la ejecución del proyecto, se seleccionaron componentes clave que aseguran la funcionalidad y el costo eficiente de la máquina. Se optó por el uso de una banda transportadora marca Moonshan, cuyas dimensiones son 8x39x6 pulgadas, la cual incluye su propio motor DC, ofreciendo una alternativa económica y efectiva en comparación con opciones más costosas. La estructura de la máquina fue diseñada utilizando perfiles de aluminio T-slot y V-slot en medidas de 30x30 mm y 20x20 mm, que fueron cortados y mecanizados en el taller de la Universidad del Valle de Guatemala. Además, se emplearon piezas impresas en 3D y un tornillo sin fin mecanizado para el transporte de las tapaderas.

En cuanto al sistema neumático, la máquina cuenta con cilindros neumáticos FESTO DSNU-S-20-200-P de carrera de 20 cm y válvulas electro neumáticas biestables de 5 vías y 2 posiciones, controladas a través de un PLC. Estas válvulas son las responsables del accionamiento del sistema neumático, permitiendo la correcta ejecución del proceso de roscado. La alimentación de aire comprimido para este sistema está garantizada por un compresor Makita modelo MAC320Q, con una presión de trabajo entre 6 y 10 bar, siguiendo las normativas de la ISO 1217, y con una vida útil de 20,000 horas de trabajo.

El desarrollo de este proyecto no solo se limita a la selección y ensamblaje de componentes, sino que también involucra la creación de un algoritmo de control para el PLC, el cual permitirá la automatización del proceso de roscado. El algoritmo estará diseñado para garantizar la sincronización precisa entre el sistema de posicionamiento y el sistema de roscado, asegurando así la eficiencia y la precisión necesarias en un entorno industrial. Finalmente, el sistema neumático fue previamente simulado utilizando el software FESTO Fluidsim Pneumatics, lo que permitió validar su funcionamiento antes de su implementación en el equipo final.

6.1. PLC

Un Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo digital que se utiliza ampliamente en la automatización y control de procesos industriales. Según Schneider Electric en su libro Telesquemario *Schneider Electric en su libro Telesquemario*[7], un PLC se define como una computadora capaz de procesar toda la información necesaria para automatizar y controlar procesos industriales.

6.1.1. Arquitectura de un PLC

Los PLCs están diseñados para operar en entornos industriales adversos y tienen una arquitectura que incluye:

- Unidad Central de Proceso (CPU): Procesa las instrucciones del programa de control
- Memoria: Almacena el programa y los datos de proceso
- Módulos de Entrada/Salida (I/O): Permiten la interacción con dispositivos externos como sensores y actuadores
- Interfaz de Comunicación: Facilita la conexión con otros sistemas y dispositivos de control

6.1.2. Aplicaciones del PLC

Los PLC se utilizan en una variedad de aplicaciones industriales, desde líneas de producción automatizadas hasta sistemas de gestión de edificios. Su capacidad para integrar y

controlar diversos dispositivos hace que sean esenciales para la automatización eficiente y precisa.



Figura 4: SIMENS S7-300

6.2. Pistón

Según Festo [8], un cilindro es un componente de un sistema neumático que convierte la energía del aire comprimido en movimiento rectilíneo. Su función principal consiste en generar un desplazamiento lineal del vástago, que se desliza dentro de un tubo o cuerpo cilíndrico, impulsado por la presión del aire.

Los pistones se deslizan dentro de una guía específica y pueden estar conectados a un sistema de cilindro que utiliza aire comprimido o fluidos para generar movimiento. Este movimiento puede ser controlado y monitoreado por un PLC, que ajusta el comportamiento del pistón según los requisitos del proceso.



Figura 5: Pistón Festo DSNU-S-20-200-P

6.3. Perfiles T-Slot

Los perfiles de aluminio T-slot son componentes esenciales en la construcción de estructuras modulares, ampliamente utilizados en la fabricación de máquinas, sistemas automatizados, equipos industriales y sistemas de soporte. Estos perfiles permiten un montaje rápido y flexible debido a sus ranuras en forma de "T", que facilitan la fijación de otros componentes como conectores, soportes, bisagras, y otros accesorios sin necesidad de perforar o

soldar. Los perfiles de 30x30 mm son una de las medidas más comunes por su equilibrio entre rigidez y versatilidad, adaptándose a una variedad de aplicaciones.

6.3.1. Propiedades mecánicas

Los perfiles de aluminio tipo T-slot de 30x30 mm presentan varias propiedades mecánicas que los hacen adecuados para aplicaciones en estructuras modulares. Están fabricados generalmente con aleaciones de aluminio como la 6063 o 6082, lo que les otorga una resistencia a la tracción que varía entre 160 y 270 MPa, dependiendo de la aleación utilizada. Este rango de resistencia es suficiente para soportar cargas moderadas sin deformaciones permanentes.[9]

El módulo de elasticidad del aluminio es de aproximadamente 68,000 a 70,000 MPa, lo que indica una rigidez intermedia que le permite resistir cargas sin deformarse significativamente, a la vez que mantiene un peso ligero. En cuanto a la resistencia a la compresión, el aluminio es capaz de soportar fuerzas compresivas sin colapsar, lo que lo hace ideal para estructuras que necesitan resistir el peso sin comprometer la estabilidad.[10]

Una de las principales ventajas del aluminio es su alta resistencia a la corrosión, lo que lo convierte en una opción ideal para estructuras expuestas a humedad o agentes corrosivos. Los perfiles T-slot de 30x30 mm tienen una capacidad de carga que puede oscilar entre 200 kg y 500 kg en configuraciones simples, aunque este valor puede variar dependiendo de la disposición de la estructura y los accesorios utilizados. Además, el aluminio tiene una densidad de aproximadamente 2.7 g/cm³, lo que lo hace liviano y fácil de manejar, sin sacrificar la resistencia estructural.

El sistema modular de los perfiles T-slot permite un ensamblaje rápido y flexible, utilizando tornillos y conectores que se insertan en las ranuras sin necesidad de soldaduras o perforaciones complejas, lo que facilita la construcción y modificación de las estructuras.[11]



Figura 6: Perfil tipo T Slot de aluminio

6.4. Motor paso a paso NEMA23

Los motores NEMA 23 son generalmente motores paso a paso unipolares o bipolares, lo que significa que pueden funcionar con diferentes configuraciones de bobinas para mejorar el rendimiento y la eficiencia. La mayoría de estos motores están diseñados para operar a voltajes relativamente bajos, generalmente entre 2 y 5 voltios, aunque el voltaje exacto depende del modelo específico.

Una de las características más destacadas de los motores NEMA 23 es su par motor. Estos motores son conocidos por ofrecer un par considerable a bajas velocidades, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren una alta precisión en el movimiento sin perder fuerza. El par motor generalmente varía entre 1 y 3 Nm , aunque hay modelos que pueden ofrecer valores superiores.

6.4.1. Principio de funcionamiento

Los motores paso a paso funcionan mediante la creación de un campo magnético que se genera al pasar corriente por las bobinas del motor. Este campo magnético interactúa con un rotor de imán permanente, causando que el rotor gire en pasos discretos. El número de pasos por revolución varía según el diseño del motor, pero típicamente un motor NEMA 23 puede tener entre 200 y 400 pasos por revolución, lo que equivale a una resolución de 1.8° o 0.9° por paso, respectivamente.

Este tipo de motor se controla mediante pulsos eléctricos, en los que cada pulso de corriente provoca que el motor avance un paso. Al variar la frecuencia de los pulsos, se puede controlar la velocidad de rotación del motor, mientras que la dirección se controla alterando la secuencia de los pulsos.



Figura 7: Motor NEMA23

6.5. Driver TB6600

El TB6600 es un driver de corriente constante diseñado para controlar motores paso a paso de tipo bipolar, como los motores NEMA 23. Este controlador es ampliamente utilizado en aplicaciones de control de movimiento en sistemas CNC, impresoras 3D, robots y otros equipos industriales. Ofrece una solución eficaz y de alto rendimiento para manejar motores paso a paso, proporcionando control preciso y protección al motor y al sistema.

El TB6600 está basado en el controlador de corriente constante y tiene la capacidad de manejar motores paso a paso con un voltaje de entrada de entre 9V y 42V y una corriente

de hasta 4A. Esta capacidad lo hace adecuado para controlar motores de mayor potencia, como el NEMA 23, que requieren una mayor corriente para alcanzar su máximo par motor. Además, el driver utiliza una microcontroladora que permite configurar diferentes niveles de corriente, adaptándose a las características del motor y proporcionando una operación eficiente.[12]

Una de las características destacadas del TB6600 es su capacidad de trabajar en diferentes modos de micro-pasos. Los micro-pasos permiten que el motor avance en fracciones más pequeñas de su paso completo, lo que aumenta la precisión del control y reduce las vibraciones y el ruido del motor. Los modos de micro-pasos que soporta el TB6600 incluyen el paso completo, medio paso, cuarto de paso y octavo de paso, lo que proporciona mayor precisión en función de las necesidades de la aplicación.

El driver TB6600 puede suministrar hasta 4A por fase del motor, lo que lo convierte en una opción ideal para motores como el NEMA 23. El voltaje de entrada recomendado para el controlador está en el rango de 9V a 42V, lo que le permite ser utilizado con una variedad de fuentes de alimentación. Este amplio rango de voltaje asegura que el driver pueda adaptarse a distintos motores paso a paso y configuraciones de sistema.[13]

El TB6600 incluye varias características de protección para garantizar un funcionamiento seguro y fiable. Está equipado con protección contra sobrecorriente, sobrecalentamiento, cortocircuitos y bajo voltaje. Estas características protegen tanto al motor como al driver, garantizando que el sistema funcione de manera segura y eficiente. Si la corriente excede el límite configurado, el driver detiene el motor para evitar daños. Además, en caso de sobrecalentamiento, el driver puede reducir la corriente o apagar el motor, protegiendo los componentes de daños térmicos.

Este driver es ideal para aplicaciones de control de movimiento en una variedad de sistemas. Se utiliza comúnmente en máquinas CNC, impresoras 3D, sistemas robóticos y otros equipos de automatización industrial. En estos sistemas, el TB6600 permite un control preciso del movimiento de los motores paso a paso, mejorando la calidad y la fiabilidad de los procesos.

Una de las principales ventajas del TB6600 es su alta capacidad de corriente, que le permite manejar motores más grandes y potentes, como los NEMA 23. Además, su capacidad para ajustar los modos de micro-pasos según la necesidad de precisión de cada aplicación le otorga una gran flexibilidad. Con la protección integrada y su facilidad de configuración, el TB6600 es una opción ideal para aplicaciones industriales y de automatización donde se requiere un control preciso y fiable de motores paso a paso.



Figura 8: Driver TB6600

6.6. Lenguajes de programación para PLC

6.6.1. Lenguaje en lista de instrucciones

También conocido como lenguaje *ladder*, es un lenguaje en lista de instrucciones se caracteriza por su conjunto de códigos simbólicos, donde cada uno representa una instrucción específica. Cada fabricante desarrolla su propio conjunto de códigos y utiliza una nomenclatura particular para referirse a las variables del sistema. Este tipo de lenguaje guarda similitudes con el lenguaje ensamblador empleado en microprocesadores.[14]

El lenguaje ladder es intuitivo y accesible, diseñado para que ingenieros y técnicos en automatización puedan crear programas de control de manera gráfica y fácil de entender. Su estructura se asemeja a los diagramas de escalera utilizados en circuitos eléctricos, lo que facilita su aprendizaje y aplicación.

6.6.2. Ventajas del Lenguaje Ladder

Una de las características más destacadas del lenguaje Ladder es su facilidad de uso. Su estructura gráfica imita el esquema de un circuito eléctrico, lo que facilita la comprensión y el diseño de programas de control, especialmente para aquellos que tienen experiencia en sistemas eléctricos. Esta representación visual, en forma de "escalera", consiste en contactos y bobinas dispuestos en una secuencia lógica de izquierda a derecha, lo que hace que el proceso de programación sea intuitivo y fácil de seguir. Además, los diagramas de escalera pueden ser entendidos rápidamente por los técnicos y operarios, incluso sin tener un conocimiento profundo de programación, lo que reduce el tiempo de formación y mejora la eficiencia operativa.[15]

El lenguaje Ladder es extremadamente confiable en entornos industriales, donde la es-

tabilidad del sistema y la precisión del control son esenciales. La estructura secuencial del lenguaje facilita la detección de errores lógicos en el proceso de programación, lo que ayuda a reducir los fallos operativos. Además, debido a su vinculación directa con las funciones de control de dispositivos como interruptores, relés y sensores, Ladder permite una rápida respuesta ante fallos o situaciones no deseadas, minimizando el riesgo de errores y garantizando una mayor seguridad en los procesos industriales.

Dado que el lenguaje Ladder es intuitivo y gráfico, se convierte en una herramienta ideal para el diagnóstico y mantenimiento de sistemas. Los diagramas de escalera pueden ser visualizados de manera clara durante las inspecciones de rutina, lo que permite a los técnicos identificar rápidamente las fallas en el sistema. Además, el formato gráfico permite rastrear fácilmente el flujo de control a través de las distintas etapas del programa, facilitando la localización de problemas y la implementación de soluciones en tiempo real. [16]

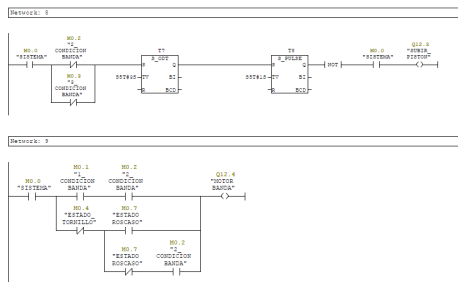


Figura 9: Ejemplo código con lenguaje Ladder

6.7. Introducción a las líneas de producción

En la industria, las líneas de producción se refieren a la secuencia de operaciones y procesos a través de los cuales pasan los materiales para convertirse en productos terminados. Dependiendo de la naturaleza del producto y los requisitos de producción, las líneas de producción pueden clasificarse en sistemas continuos y discontinuos.[17]

6.7.1. Sistemas de producción continuos

Los sistemas de producción continuos se caracterizan por el flujo constante de materiales a través del proceso de manufactura. Estos sistemas son comunes en industrias como la petroquímica, la fabricación de papel y la producción de alimentos, donde es crucial mantener una operación ininterrumpida para lograr una alta eficiencia y uniformidad en el producto final.

7.1. Banda transportadora

En el proceso de adaptación y rediseño de la máquina roscadora de envases, se identificó que uno de los componentes clave que requería modificaciones era la banda transportadora. El objetivo principal de esta adaptación consistía en optimizar los costos asociados sin comprometer la funcionalidad ni la eficiencia de la máquina. La banda transportadora original, aunque fuera de alta calidad(Figura10), presentaba un costo significativo que afectaba la viabilidad económica del proyecto.

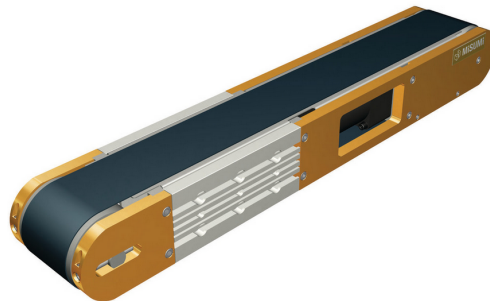


Figura 10: Banda transportadora marca MISUMI.

7.1.1. Análisis de costos y rendimiento

La banda transportadora previamente utilizada en la máquina era el modelo CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM mostrada en la Figura 10, fabricada por Misumi. Las especificaciones de esta banda incluían una longitud de 1000 mm, un ancho de 150 mm y un grosor de 6 mm. Además, no incluía motor, lo que implicaba la adquisición de un motor adicional, incrementando así el costo total del sistema.

El costo de esta banda transportadora era de \$2,300, un valor considerable que afectaba el presupuesto del proyecto. Aunque el rendimiento de la banda era adecuado, se decidió buscar una alternativa más económica que mantuviera la misma funcionalidad.

En la búsqueda de una solución más asequible, se seleccionó una banda transportadora de la marca Moonshan que se muestra en la Figura 11, adquirida en Amazon, con dimensiones de 990 x 200 x 150 milímetros. Esta banda tiene un costo de \$299, lo que representa una reducción significativa en comparación con la anterior. Además de la diferencia de precio, la nueva banda incluye su propio motor, eliminando la necesidad de adquirir un motor adicional, lo cual simplificó el proceso de ensamblaje y redujo aún más los costos asociados. En el Cuadro 1 se muestran las características de la banda escogida.

Características	Magnitud
Ancho	200 mm
Largo	990 mm
Carga	7 kg
Velocidad máxima	7m/min
Tipo de banda	Cinturones planos
Voltaje nominal	120 V

Cuadro 1: Características de la banda transportadora Moonshan

La banda Moonshan está diseñada para aplicaciones industriales ligeras y cuenta con un control de velocidad ajustable, lo que la convierte en una opción versátil para el proceso de roscado de envases. Su motor integrado y su estructura compacta permiten una fácil instalación y mantenimiento.



Figura 11: Banda transportadora Moonshan.

7.1.2. Comparación de funcionalidad

A pesar de la gran diferencia en el costo, la nueva banda transportadora cumple con las mismas funciones que la anterior, permitiendo un transporte eficiente y seguro de los envases dentro del sistema de roscado. Además, incluye un motor que optimizó el diseño general de la máquina, haciéndolo más compacto y fácil de ensamblar. Esta adaptación no solo redujo significativamente los costos del proyecto, sino que también facilitó la selección y adquisición de materiales, mejorando la integración de los componentes y alineándose con el objetivo de re diseñar la máquina sin comprometer la calidad ni la funcionalidad del sistema.

La selección de componentes más accesibles y funcionales es un paso crucial en la adaptación y construcción de la máquina, asegurando que cumpla con los requisitos técnicos y económicos necesarios para su implementación. Madrigales [6] en su diseño final especifica las características de la banda para el su diseño como se muestra en el Cuadro 2. Comparando con la banda que se escogió, los requisitos son similares y si cumplen con la adaptación nueva del diseño. En el Cuadro 3 se comparan ambas bandas.

Características	Magnitud
Ancho	150 mm
Largo	1000 mm
Carga	10 kg
Velocidad máxima	26.4m/min
Tipo de banda	Cinturones planos
Voltaje nominal	220 V

Cuadro 2: Características de la Banda Transportadora del diseño de Madrigales[6]

Características	Banda transportadora Moonshan	Madrigales
Ancho	200 mm	150 mm
Largo	990 mm	1000 mm
Carga	7 kg	10 kg
Velocidad máxima	7 m/min	26.4 m/min
Tipo de banda	Cinturones planos	Cinturones planos
Voltaje nominal	120 V	220 V

Cuadro 3: Comparativa de las características de las bandas transportadoras Moonshan y Madrigales

Ensamblaje de la máquina

El proceso de construcción de la máquina roscadora para envases implicó diversas etapas, desde la selección y preparación de los materiales hasta el ensamblaje final de los componentes. En esta capítulo, se detallan las actividades realizadas, las herramientas empleadas y las decisiones técnicas tomadas para garantizar la correcta fabricación y funcionamiento de la máquina. Los perfiles de aluminio, los tornillos, las piezas impresas en 3D y los elementos maquinados juegan un papel clave en la estructura y el mecanismo de roscado, siendo seleccionados por su durabilidad, facilidad de manejo y disponibilidad en el mercado.

8.1. Selección de perfiles de aluminio

Los perfiles de aluminio fueron adquiridos en barras de 10000 mm de longitud cada una. En el Cuadro 4 se describe la cantidad y medidas utilizadas en el ensamblaje de la máquina roscadora de recipientes. Las medidas son acuerdo con los planos del diseño elaborado por Madrigales[6]. Se optó por utilizar perfiles de aluminio T-slot y V-slot como los que se muestran en la Figura 12 debido a su versatilidad en el ensamblaje de estructuras y su capacidad para adaptarse a diferentes configuraciones. El aluminio es un material liviano, resistente a la corrosión y de fácil manipulación, lo que lo hace ideal para la construcción de la máquina roscadora de recipientes para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

Medida (mm)	Tipo de perfil	Cantidad
500	T-Slots 30x30	5
700	T-Slots 30x30	1
400	T-Slots 30x30	3
470	T-Slots 30x30	1
260	T-Slots 20x20	2
308	T-Slots 20x20	2
380	T-Slots 20x20	2
260	T-Slots 20x20	1
420	T-Slots 20x20	2
500	V-Slots 20x20	4

Cuadro 4: Tabla de cantidades de perfiles T-Slots y V-Slots

V-slots: Se utilizaron perfiles con dimensiones 20x20 mm. Estos perfiles son ideales para aplicaciones que requieren el movimiento de componentes, ya que permiten la inserción de rodamientos y ruedas en su ranura en V, facilitando desplazamientos de las ruedadas de manera suaves y sin dañaras.

T-slots: Se seleccionaron perfiles de 30x30 mm y 20x20 mm exclusivamente para la estructura principal de la máquina. Los T-slots permiten una fácil sujeción de accesorios mediante tornillos y tuercas, lo que facilita la construcción sencilla y si es requerido, un desmontaje sencillo.



Figura 12: Perfiles de aluminio.

8.2. Corte y rectificación de los perfiles

El proceso de corte de los perfiles se llevó a cabo en el Taller de Manufactura de la Universidad del Valle de Guatemala, donde se dispuso del equipo y las herramientas adecuadas para esta tarea.

Se utilizó una sierra de mano, como se muestra en la Figura 13, para cortar los perfiles

de aluminio a las dimensiones requeridas por el diseño. Este método, aunque manual, permitió un mayor control sobre la precisión del corte y resultó suficientemente efectivo para los perfiles de aluminio debido a su relativa suavidad en comparación con otros metales. Posteriormente, se ajustaron a la medida utilizando una fresa para rectificar las caras de donde se realizó el corte del perfil.



Figura 13: Corte de perfiles

Después de cortar los perfiles, fue necesario rectificarlos como se muestra en la Figura 14, esto para asegurarse de que las piezas se ajustaran con precisión a las dimensiones especificadas en los planos. Este proceso se realizó utilizando una fresadora de alta precisión. La rectificación no sólo permitió que las piezas alcanzaran las medidas exactas, sino que también eliminó los bordes afilados, garantizando superficies lisas que son seguras para el manejo y el ensamblaje.

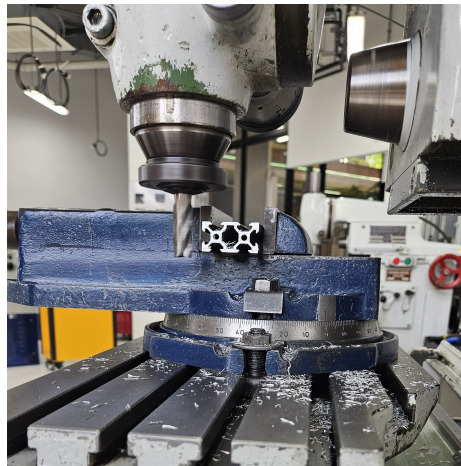


Figura 14: Rectificando perfiles de aluminio

Una vez que los perfiles fueron cortados y rectificados, se procedió a hacer las modificaciones necesarias para permitir su ensamblaje. En algunos perfiles, se realizaron roscas internas utilizando un machuelo de 4 mm. Este proceso fue esencial para preparar los perfiles para ser ensamblados con tornillos Allen de cabeza cilíndrica M4, que ofrecen una fuerte sujeción y permiten un ensamblaje estéticamente limpio. Las roscas permiten una mayor

estabilidad en la unión de los perfiles, ya que no es necesario usar métodos de sujeción externos, lo que también facilita el desensamblaje y ajuste de las piezas en caso de modificaciones o reparaciones futuras.

8.3. Piezas impresas en 3D para el ensamblaje

Durante la fase de ensamblaje, fue necesario diseñar e imprimir varias piezas complementarias mediante tecnología de impresión 3D. Estas piezas fueron diseñadas a medida para integrarse con los perfiles de aluminio, ofreciendo soporte adicional en las uniones y permitiendo la instalación de componentes adicionales.

El uso de impresoras 3D permitió una gran flexibilidad en la personalización de las piezas y facilitó la fabricación rápida de componentes específicos que no se podían encontrar fácilmente en el mercado. Las piezas impresas fueron principalmente empleadas como:

- Conectores para unir los perfiles en ángulos de 90° como se puede ver en la Figura 15
- Soportes para el montaje de sensores capacitivos(Figura16)

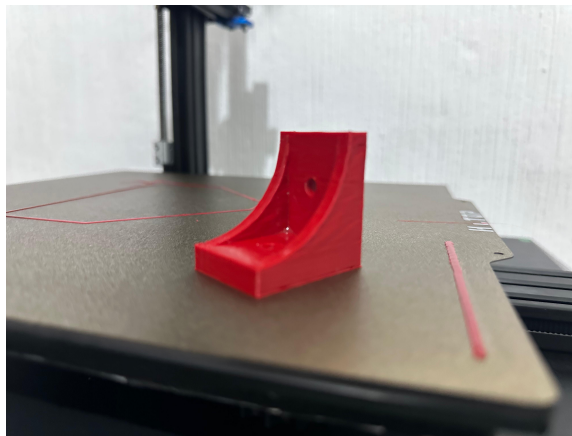


Figura 15: Pieza 3D para unir T Slots de 30x30mm

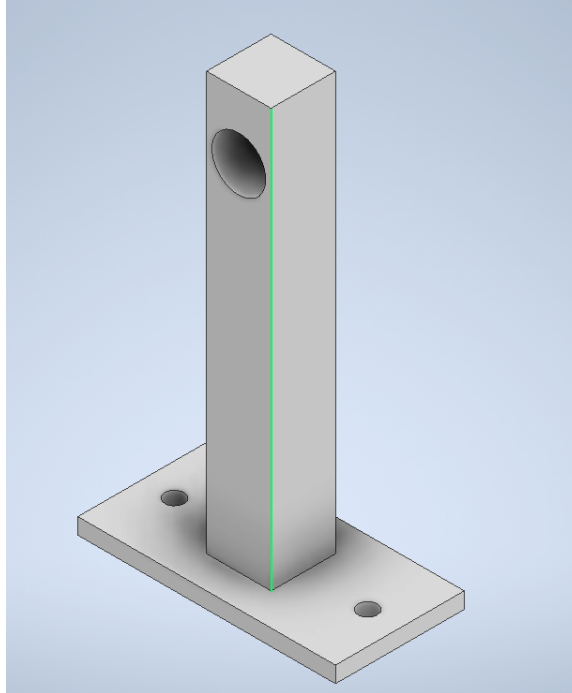


Figura 16: Diseño CAD de base para sensores

8.4. Ensamblaje de la estructura principal

El ensamblaje de la estructura de la máquina se realizó utilizando los perfiles previamente cortados y rectificados, con la ayuda de tuercas para perfiles T-slot de 4 mm y los tornillos Allen M4 mencionados anteriormente.



Figura 17: Primera fase de ensamble

La estructura principal fue diseñada con los T-slots de 30x30 mm debido a su robustez y modularidad, lo que permitió construir una estructura resistente pero al mismo tiempo

ligera, ideal para soportar los componentes mecánicos de la máquina roscadora. En la Figura 17 se muestra como fue la primera parte del ensamblaje.

Por otro lado, los V-slots de 20x20 mm se usaron principalmente en las zonas donde era necesario implementar rodamientos y ruedas como se observa en la Figura 18 , ya que los T-slots no son adecuados para este tipo de aplicaciones. Los perfiles V-slot permiten que las ruedas y los rodamientos se deslicen suavemente por las ranuras, que para esta máquina es importante ya que tiene movimientos verticales.



Figura 18: Ensamble con rodamientos

8.5. Maquinado de componentes adicionales

Además de los perfiles y las piezas impresas, se requirió la fabricación de otros componentes mediante maquinado especializado.

Uno de los componentes más importantes fue el tornillo sin fin, como se muestra en la Figura 19. El tornillo sin fin es un mecanismo de control para dispensar las tapaderas únicamente cuando un envase se encuentra en la posición deseada. Este tornillo sin fin se encuentra ubicado en la primera parada de la máquina, donde el sensor detecta la posición del envase y activa el motor que lo mueve. El largo y la cantidad de crestas del tornillo están dimensionados en función de cuántas tapaderas podrán estar dentro del proceso al mismo tiempo; en este caso, 5 tapaderas.

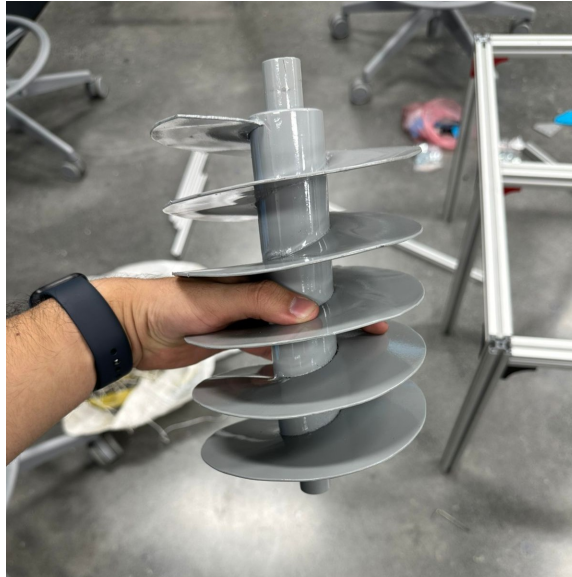


Figura 19: Tornillo sin fin

También se maquinó un conjunto de piezas diseñadas para sostener los cilindros y permitir su ajuste, garantizando que el mecanismo de roscado funcione de manera eficiente y precisa.

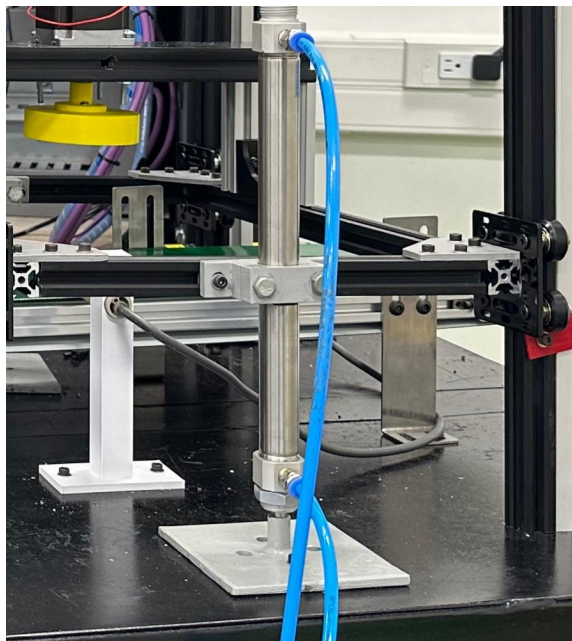


Figura 20: Pieza de fijación de cilindros

8.6. Montaje final

Una vez que todos los perfiles, piezas impresas y componentes maquinados estuvieron listos, se procedió con el montaje final de la máquina. Durante esta fase, fue necesario realizar varios ajustes menores en los perfiles para asegurar un ensamblaje perfecto y un alineamiento adecuado de todas las piezas móviles. En la Figura 21 se muestra ya el ensamblaje de los perfiles y rodamientos donde falta incluir sus actuadores y motores a utilizar.

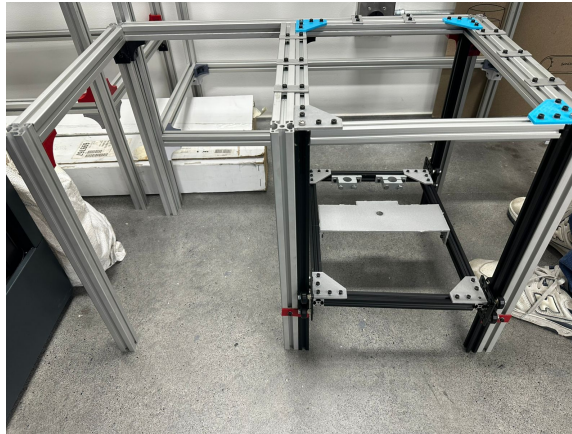


Figura 21: Ensamblaje de perfiles terminado.

Después del montaje, se realizaron pruebas de estabilidad de la estructura con pesos en diferentes partes para verificar la estabilidad estructural de la máquina y el funcionamiento de los componentes de movimiento, incluyendo los cilindros neumáticos y el tornillo sin fin. Al concluir las pruebas de estabilidad se realizaron pruebas neumáticas alimentando con aire comprimido a 10 bar de presión, confirmaron que la estructura era sólida y que los mecanismos de roscado operaban según lo esperado y los cilindros neumáticos cumplían con su función de subir y bajar el mecanismo de roscado.

El proceso de construcción de la máquina roscadora implicó múltiples fases, cada una de ellas crucial para garantizar el correcto ensamblaje y funcionamiento del equipo. La utilización de perfiles de aluminio T-slot y V-slot, junto con la fabricación de piezas impresas en 3D y maquinadas, permitió desarrollar una estructura robusta, modular y eficiente. El corte, rectificación y ensamblaje después de varios ajustes como el cambiar el diámetro de la rosca, unirlos de manera eficiente y el uso adecuado de las herramientas disponibles en la Universidad del Valle de Guatemala.

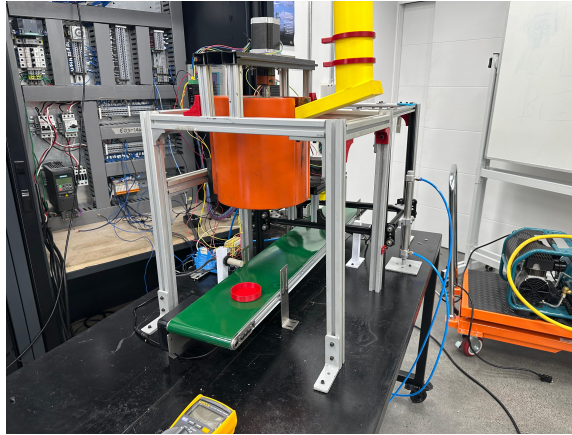


Figura 22: Ensamble terminado de la máquina

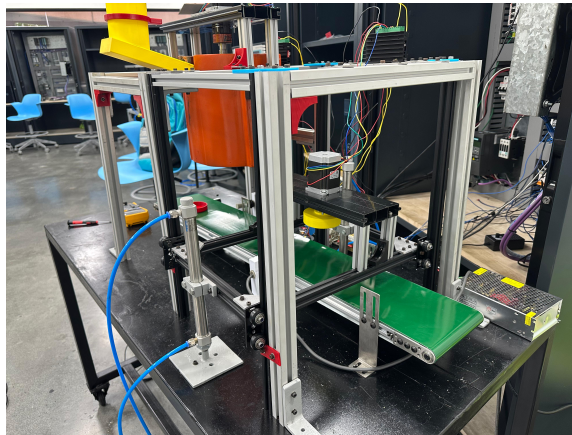


Figura 23: Sistema de rosado completamente ensamblado

9.1. Diseño neumático

Se han utilizado cilindros neumáticos del fabricante FESTO modelo DSNU-S-20-200-P con carrera de 20 cm para proporcionar el movimiento vertical necesario. Estos cilindros permiten que el marco móvil realice los desplazamientos requeridos de forma alineada y sin esfuerzo excesivo.



Figura 24: Pistón Festo DSNU-S-20-200-P

El marco móvil se desliza sobre rieles y perfiles V-slot de 20x20 mm, que garantizan un deslizamiento suave. Estos perfiles en V han demostrado ser ideales para los sistemas de desplazamiento de alta precisión, asegurando que el marco mantenga una alineación constante durante todo el ciclo de roscado. El diseño neumático de la máquina está basado en un sistema de aire comprimido, el cual alimenta los cilindros neumáticos a través de una serie de tuberías y conexiones. Estas tuberías permiten la circulación del aire desde el compresor hasta los actuadores que en este caso son cilindros, lo que asegura que el marco móvil pueda desplazarse con precisión según las señales de control.

Para controlar el flujo de aire, se han incorporado válvulas electroneumáticas doble efecto como la que se muestra en la Figura 25, las cuales tienen la función de regular el paso del aire

comprimido. Estas válvulas permiten abrir o cerrar los conductos de aire según la necesidad, siendo el punto central de control del sistema neumático. El modelo de valvulas que se utilizado es: FESTO MFH-5-1/4-S-NPT.



Figura 25: Válvula MFH-5-1/4-S-NPT

9.2. Válvula neumática

El sistema neumático está controlado a través de 2 válvulas de 5 vías y 2 posiciones, modelo MFH-5-1/4-S-NPT del fabricante FESTO. Estas válvulas fueron seleccionadas por su capacidad para manejar el flujo de aire de manera eficiente, permitiendo que el sistema funcione bajo los parámetros que le PLC tiene programados.

La válvula biestable garantiza que, en su posición de reposo, mantenga el sistema en un estado estable hasta que el PLC envíe una señal de control. Puede estar configurada como normalmente abierta (NA) o normalmente cerrada (NC). En este caso, la válvula envía un pulso de control que activa el movimiento vertical del marco móvil de roscado hasta alcanzar el límite mecánico o hasta que se envíe una nueva señal de paro.

En el caso de la válvula de 5 vías y 2 posiciones seleccionada, esta cuenta con dos posiciones de control:

Posición 1 (Normalmente Cerrada - NC): En esta posición, el aire comprimido no fluye hacia los cilindros. Esto permite que el sistema neumático se mantenga inactivo hasta que el PLC envíe una señal para activar el movimiento. En términos prácticos, esta posición evita el movimiento involuntario del marco móvil y proporciona un nivel de seguridad en el sistema.

Posición 2 (Normalmente Abierta - NA): Al activarse la válvula mediante la señal del PLC, el aire comprimido fluye hacia los cilindros neumáticos, lo que genera el movimiento deseado del marco de roscado. Esta posición se mantiene mientras la señal de control esté activa.

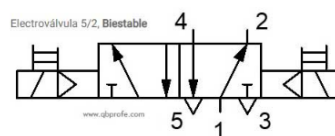


Figura 26: Diagrama de válvula 5/2

9.3. Funcionamiento del sistema neumático

El sistema neumático se activa mediante el control del PLC, que envía señales a la válvula electroneumática para abrir o cerrar el flujo de aire hacia los cilindros. El aire comprimido es dirigido hacia los cilindros, lo que permite el movimiento ascendente o descendente del marco móvil. Este control preciso permite ajustar la posición del marco según las necesidades del proceso de roscado.

EL funcionamiento del sistema neumático requiere un compresor que otorga un suministro constante de aire comprimido. Se utilizó el compresor Makita modelo MAC320Q. En este caso, se seleccionó un compresor cuyo rango de operación varía entre 6 y 10 bar. Este compresor cuenta con una presión máxima de trabajo de 10 bar (145 psi) y un ciclo de trabajo del 100 %, lo que garantiza su capacidad para operar de manera continua sin necesidad de interrupciones prolongadas. Además, cuenta con una vida útil estimada de 20,000 horas, lo que lo convierte en una opción confiable para la aplicación de la maquina de roscado para el laboratorio de Automatización de la Universidad del Valle de Guatemala.

Para validar el correcto funcionamiento del sistema neumático con el compresor que es capaz de ortogar 10 bar, se utilizó el software FESTO Fluidsim Pneumatics para realizar una simulación neumática de la red. Este simulador permitió verificar que el caudal de aire suministrado por el compresor era suficiente para accionar los cilindros neumáticos y otros componentes del sistema en condiciones reales de operación.

La simulación confirmó que el compresor es capaz de proporcionar 10 bar, que es el caudal necesario para el adecuado funcionamiento del sistema sin sobrecargar los componentes neumáticos, pueden ser utilizados para operar en la máquina.

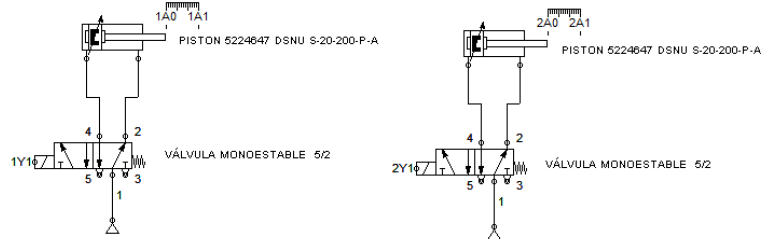


Figura 27: Simulación neumática realizada en FLUIDSIM PNEUMATICS

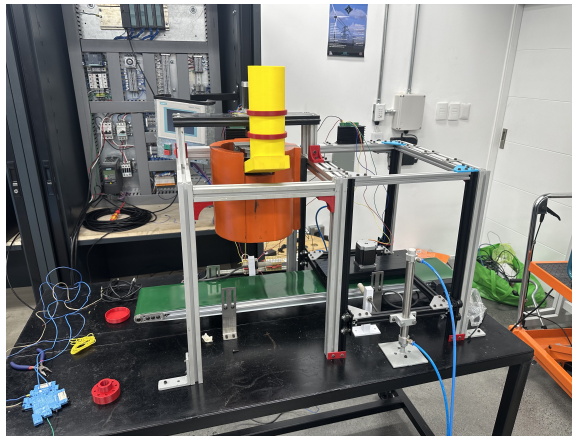


Figura 28: Máquina ensamblada

Este capítulo aborda la programación y control mediante un PLC SIMATIC S7-300 de Siemens para una máquina roscadora de envases de vidrio. A continuación, se detalla el funcionamiento de la máquina y el enfoque adoptado para la programación del PLC.



Figura 29: S7-300

10.1. Descripción del proceso

El proceso automatizado consta de varios pasos controlados por el PLC SIMATIC S7-300, que se integra con sensores y actuadores para lograr el movimiento adecuado de los envases a través de la máquina. El sistema involucra los siguientes componentes:

- **Banda transportadora:** Se encarga de mover los envases de un punto a otro.
- **Sensores de proximidad PNP:** Detectan la llegada de los envases a las posiciones específicas en la línea.
- **Tornillo sin fin:** Transporta las tapaderas desde una tolva hacia los envases, permitiendo su colocación.

- **Motores paso a paso:** Mueve el tornillo sin fin y gira el mecanismo para roscar, activado por el PLC cuando se detecta la presencia del envase.
- **Pistones neumáticos:** Realizan el movimiento lineal de subir y bajar el mecanismo para roscar las tapaderas.
- **Válvulas electro neumáticas:** Controlan el accionamiento de los pistones.

:

El proceso comienza cuando el primer sensor detecta la llegada a la parte inferior del tornillo sin fin de un envase, lo que provoca la detención de la banda transportadora. En ese momento, el tornillo sin fin transporta una tapadera desde la tolva hasta el envase. El motor del tornillo se enciende por 2 segundos. Luego, al apagarse el motor, la banda transportadora se reactiva, moviendo el envase hacia la segunda estación.

Al terminar lo anterior mencionado, un segundo sensor detecta la presencia del envase, activando los pistones neumáticos mediante el control de las válvulas biestables. Estos pistones bajan el mecanismo de roscado, al estar abajo se enciende el motor de roscado por 1 segundo, luego se apaga el motor. Al completarse lo anterior, los pistones se retraen y el envase continúa su recorrido, impulsado nuevamente por la banda transportadora. La máquina es capaz de tener varios recipientes en el banda, puede trabajar en simultaneo, con el supuesto que los recipientes viene separados a una distancia x . Esa distancia x es la distancia entre sensores, que en este vaso es de 9 cm.

10.2. Programación del PLC SIMATIC S7-300

Para el control del proceso, el PLC SIMATIC S7-300 ha sido programado utilizando el entorno de desarrollo STEP 7 dentro del portal Totally Integrated Automation (TIA). El PLC se configura para gestionar los sensores, motores y válvulas neumáticas, siguiendo las fases del proceso descritas y el diagrama de flujo mostrado en la Figura. 30

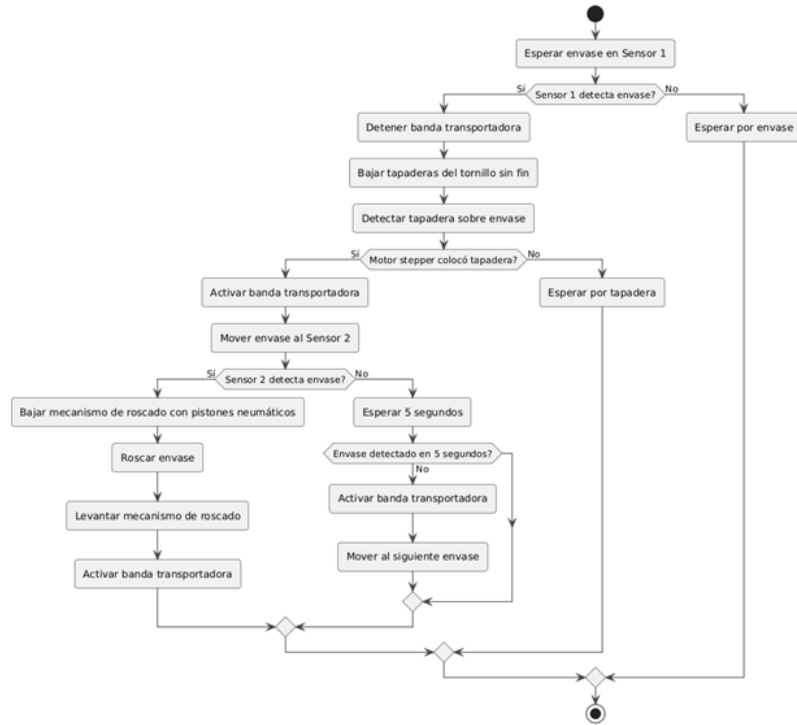


Figura 30: Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina roscadora

1. Detección del envase por el primer sensor: Cuando el sensor de proximidad capacitivo detecta la llegada del envase, el PLC desactiva la banda transportadora. Esta acción asegura que el envase esté correctamente posicionado bajo el tornillo sin fin.
2. Colocación de la tapadera: El PLC activa el motor paso a paso, que opera el tornillo sin fin para transportar y colocar la tapadera sobre el envase.
3. Reactivación de la banda transportadora: Tras la colocación de la tapadera, el PLC reactiva la banda transportadora, moviendo el envase hacia la siguiente estación.
4. Detección del envase por el segundo sensor: El segundo sensor capacitivo detecta la llegada del envase a la estación de roscado, provocando la detención de la banda nuevamente.
5. Accionamiento de los pistones neumáticos: El PLC envía una señal a las válvulas neumáticas biestables para accionar los pistones que bajan el mecanismo de roscado.
6. Liberación del envase: Una vez que el roscado ha sido completado, los pistones se retraen, y el PLC reactiva la banda transportadora para mover el envase fuera de la máquina.

10.3. Configuración de entradas y salidas

En la programación del PLC, se ha definido una configuración de entradas y salidas (I/O) digitales para gestionar los sensores, el motor paso a paso y las válvulas neumáticas.

Las entradas están asociadas a los sensores de proximidad capacitivos como el de la Figura 31, mientras que las salidas controlan los actuadores.



Figura 31: Sensor capacitivo Omro E2K-X8ME1

Entradas digitales:

- Sensor de proximidad 1 (envase en estación de colocación de tapadera).
- Sensor de proximidad 2 (envase en estación de roscado).

Salidas digitales:

- Control del motor paso a paso tornillo sin fin
- Control del motor paso a paso mecanismo de roscado
- Bobina de electroválvula para bajar sistema
- Bonina de electroválvula para subir sistema
- Control de la banda transportadora

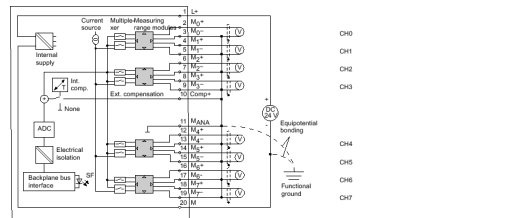


Figura 32: Entradas y salidas S7-300

10.3.1. Diagrama de conexiones de la máquina

Las conexión que se muestra a continuación es la conexión del driver TB6600 al microcontrolador. En este caso, el microcontrolador utilizado es un Arduino Uno.

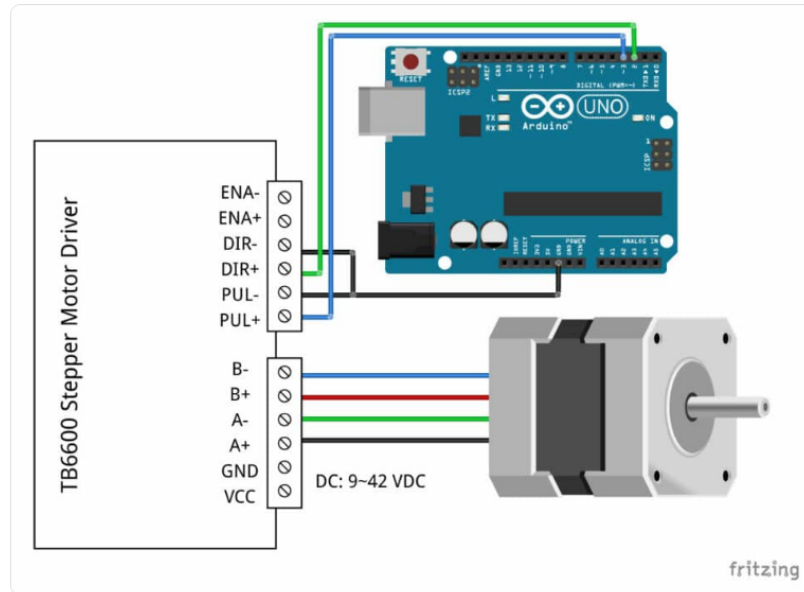


Figura 33: Diagrama de conexión para TB6600 a motor del tornillo sin fin

TB6600	Conexión
VCC	9 - 42 VDC
GND	Tierra de la fuente de alimentación
ENA-	No conectado
ENA+	No conectado
DIR-	Tierra de Arduino
DIR+	No conectado
PUL-	Tierra de Arduino
PUL+	Pin 3 de Arduino
A-, A+	Bobina 1 del motor paso a paso
B-, B+	Bobina 2 del motor paso a paso

Cuadro 5: Conexiones del controlador TB6600 a motor del tornillo sin fin

Los pines ENA+, ENA- y DIR+ no se utilizan. El motivo es ya que estos pines se utilizan para desactivar el driver, en este caso siempre se quiere activo el driver TB6600 para el mejor funcionamiento. Lo anterior mencionado aplica para el motor del mecanismo de roscado.

Para las conexiones del motor del sistema de roscado:

TB6600	Conexión
VCC	9 - 42 VDC
GND	Tierra de la fuente de alimentación
ENA-	No conectado
ENA+	No conectado
DIR-	Tierra de Arduino
DIR+	No conectado
PUL-	Tierra de Arduino
PUL+	Pin 6 de Arduino
A-, A+	Bobina 1 del motor paso a paso
B-, B+	Bobina 2 del motor paso a paso

Cuadro 6: Conexiones del controlador TB6600 a motor del sistema de roscado

Para conectar el Arduino al relé de las salidas digitales del tablero de conexiones del PLC(Figura34). Al activar el relé, manda un pulso de 5V que activa el motor y para apagar el motor el relé se apaga. Aplica para ambos motores de la máquina.

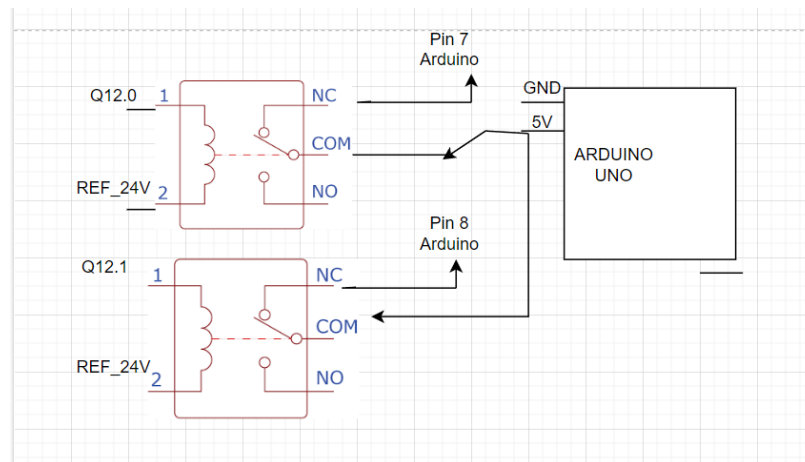


Figura 34: Conexión Arduino Uno a PLC

Las conexiones de la máquina al PLC se muestran en el la Figura35, la nomenclatura $I8.N$ es para las entradas digitales, la nomenclatura $Q13.N$ para las salidas digitales a relé y por ultimo la nomenclatura $M0.N$ para las memorias internas del PLC. Estas memorias no son conexiones físicas.

Properties of symbol table

Name: Symbols
 Author:
 Comment:
 Created on: 11/16/2024 12:31:56 PM
 Last modified on: 11/21/2024 10:34:04 AM
 Last filter criterion: All Symbols
 Number of symbols: 17/17
 Last Sorting: Symbol Ascending

Status	Symbol	Address	Data type	Comment
	1_CONDICION BANDA	M 0.1	BOOL	
	2_CONDICION BANDA	M 0.2	BOOL	
	3_CONDICION BANDA	M 0.3	BOOL	
	BAJAR_PISTON	Q 12.2	BOOL	
	ESTADO ROSCASO	M 0.7	BOOL	
	ESTADO TORNILLO	M 0.6	BOOL	
	ESTADO_ROSCADO	M 0.5	BOOL	
	ESTADO_TORNILLO	M 0.4	BOOL	
	MOTOR ROSCADO	Q 12.1	BOOL	
	MOTOR TORNILLO	Q 12.0	BOOL	
	RUN	I 8.0	BOOL	
	SENSOR1	I 8.5	BOOL	
	SENSOR2	I 8.6	BOOL	
	SISTEMA	M 0.0	BOOL	
	STOP	I 8.1	BOOL	
	SUBIR_PISTON	Q 12.3	BOOL	
	MOTOR BANDA	Q 12.4	BOOL	

Figura 35: Conexiones de entradas y salidas digitales PLC a máquina

10.4. Algoritmo de Control

El control del proceso en la máquina roscadora de envases se implementa mediante un algoritmo basado en la programación de un PLC SIMATIC S7-300 utilizando el entorno de desarrollo STEP 7. Este algoritmo se encarga de coordinar las acciones de los sensores, actuadores y el sistema neumático, asegurando que el proceso de roscado se realice de manera

eficiente y precisa.

El algoritmo sigue las siguientes etapas y fases del proceso:

Detección del envase (Fase 1): Cuando un envase llega a la estación de colocación de tapaderas, el primer sensor de proximidad capacitivo detecta su presencia. Este sensor envía una señal al PLC, que activa el motor paso a paso para girar el tornillo sin fin, transportando la tapadera hacia el envase. El PLC asegura que la banda transportadora se detenga en este punto para garantizar que el envase quede correctamente posicionado debajo del mecanismo de roscado.

Colocación de la tapadera (Fase 2): Una vez que la tapadera está correctamente alineada sobre el envase, el PLC activa el motor paso a paso para mover el tornillo sin fin y colocar la tapadera sobre el envase. Una vez completada la colocación, el PLC reactiva la banda transportadora para mover el envase hacia la siguiente estación de roscado.

Roscado de la tapadera (Fase 3): El segundo sensor de proximidad PNP detecta el envase en la estación de roscado, lo que envía una señal al PLC para detener nuevamente la banda transportadora.

El PLC envía señales a las válvulas neumáticas para accionar los cilindros neumáticos, los cuales bajan el mecanismo de roscado y aprietan la tapadera sobre el envase. Durante este proceso, el PLC controla el movimiento de los cilindros neumáticos de manera precisa, asegurando que la tapadera esté correctamente ajustada.

Liberación del envase (Fase 4): Una vez completado el proceso de roscado, el PLC envía una señal para retraer los cilindros neumáticos, liberando el envase. La banda transportadora se reactiva, moviendo el envase fuera de la máquina, permitiendo que el siguiente envase entre en el sistema.

Ciclo continuo: Este proceso se repite continuamente para cada envase que ingresa al sistema. El PLC gestiona de manera eficiente el ciclo de trabajo, asegurando que el proceso de colocación y roscado de las tapaderas se realice de forma automatizada, con precisión y sin errores.

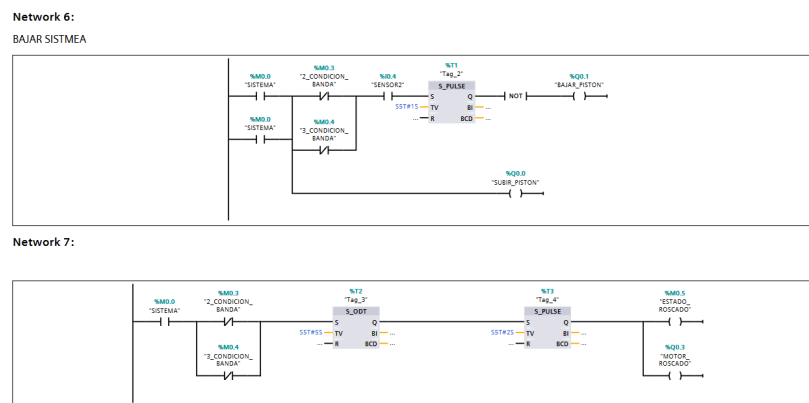


Figura 36: Parte del código del proceso

- La máquina de roscado de envases diseñada y construida en este trabajo cumple con los objetivos establecidos, proporcionando una herramienta educativa eficaz para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. La integración de un sistema automatizado que combina control neumático, programación de PLC y diseño mecánico ha permitido ofrecer a los estudiantes una experiencia práctica en un entorno controlado y realista.
- El diseño y la implementación del sistema neumático, utilizando componentes de alta calidad como los cilindros FESTO y válvulas direccionales electroneumáticas, aseguraron el control preciso del movimiento de los actuadores. La simulación previa realizada en *FESTO Fluidsim Pneumatics* permitió validar el correcto funcionamiento del sistema, garantizando la eficiencia y fiabilidad del proceso de roscado.
- La máquina de roscado diseñada representa una contribución significativa a la educación en el campo de la automatización industrial, ofreciendo a los estudiantes una plataforma para familiarizarse con las tecnologías que son fundamentales en la industria moderna. Este proyecto no solo mejora la calidad de la enseñanza en la Universidad del Valle de Guatemala, sino que también promueve el desarrollo de competencias técnicas y el entendimiento profundo de los procesos automatizados.

- Se recomienda la integración de un sistema *HMI* en la máquina de roscado para facilitar la interacción del usuario con el sistema. Un *HMI* permitiría a los operadores monitorear en tiempo real el estado de la máquina, visualizar alarmas o errores, y ajustar parámetros como la velocidad de la banda transportadora, la presión de los cilindros neumáticos o el ciclo de roscado. Esta interfaz gráfica mejoraría la usabilidad y la capacidad de diagnóstico del sistema, brindando a los usuarios la posibilidad de realizar ajustes de manera eficiente sin necesidad de intervención directa en el PLC. Además, un *HMI* adecuado contribuiría a mejorar la experiencia educativa de los estudiantes, permitiéndoles familiarizarse con herramientas y tecnologías comúnmente utilizadas
- Se sugiere la implementación de más sensores a lo largo del proceso de roscado para aumentar la precisión y confiabilidad de la máquina. Sensores como los de presión, torque o desplazamiento podrían integrarse para monitorear con mayor detalle el ajuste de la tapadera, la alineación de los envases y la calidad del roscado. El uso de sensores adicionales permitiría ajustar dinámicamente el funcionamiento de los actuadores en función de las variaciones del proceso, lo que garantizaría un control más preciso y reduciría la probabilidad de errores o fallos en la producción. Además, esto ofrecería a los estudiantes la oportunidad de trabajar con tecnologías avanzadas, proporcionando una experiencia educativa más completa en el campo de la automatización industrial.
- Se sugiere utilizar sensores fotoeléctrico en lugar de sensores capacitivo. Los sensores capacitivos requieren que se aproxime por lo menos a 10 milímetros de distancia, provocando fallos en la máquina al no detectar siempre todos los elementos que están en la banda transportadora. Con los sensores fotoeléctrico se garantiza que al pasar el recipiente este lo detectara de manera fácil.
- Se recomienda utilizar reguladores de flujo de aire para las salidas de los pistones neumáticos para tener un mayor control de velocidad en el desplazamiento vertical del mecanismo de roscado.

-
- [1] O. A. Girón, *Programa del curso de automatización e instrumentación industrial 1*, Universidad de Valle de Guatemala, Enero de 2022.
 - [2] SIMENS, *SIMATIC STEP 7 (TIA Portal)*, <https://www.siemens.com>, mar. de 2011.
 - [3] O. A. Girón, *Programa del curso de automatización e instrumentación industrial 2*, Universidad de Valle de Guatemala, jun. de 2022.
 - [4] FESTO, *Automatización de fábricas Soluciones de aprendizaje para la educación y la formación*, <https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files>.
 - [5] AMATROL, *Sorting and Distribution Station 87-TMS3*, <https://amatrol.com/product/87-tms3/>, 2023.
 - [6] A. M. I. Madrigales, “Diseño de una máquina de roscado de tapaderas para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
 - [7] S. Electric, *Manual Electrotécnico Telesquemario*. 20017, vol. 1, pág. 187.
 - [8] R. A. Española, *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed. Madrid: España, 2021.
 - [9] A. Green, *Compression Strength in Metals*. Engineering Press, 2017.
 - [10] J. Doe, *Aluminum Alloys and Their Applications*. TechPress, 2018.
 - [11] E. Black, “Corrosion Resistance of Aluminum Alloys,” *Corrosion Science*, vol. 42, n.º 4, págs. 389-400, 2021.
 - [12] J. Smith y T. Brown, “TB6600 Stepper Motor Driver: Design and Applications in Industrial Automation,” *Journal of Motion Control Technology*, vol. 22, n.º 3, págs. 45-52, 2019.
 - [13] F. Electronics, *High-Power Stepper Motor Drivers and Applications*, 1st. Tokyo: Fujitsu Press, 2016.
 - [14] S. M. J. Pedro Romera J. Antonio Lorite, *Automatizacion Problemas resueltos con automatás programables*. 1994, pág. 22.
 - [15] T. Brown, “A Review of Ladder Logic and Its Applications in Industrial Automation,” *Journal of Industrial Automation*, vol. 15, n.º 4, págs. 123-130, 2018.

- [16] R. Jones y M. Smith, *Automated Control Systems: A Practical Approach*, 2nd. New York: TechBooks Publishing, 2012.
- [17] L. Solar, *Técnicas de envase y empaque*. 1998, vol. 5, pág. 33.

14.1. Planos de construcción

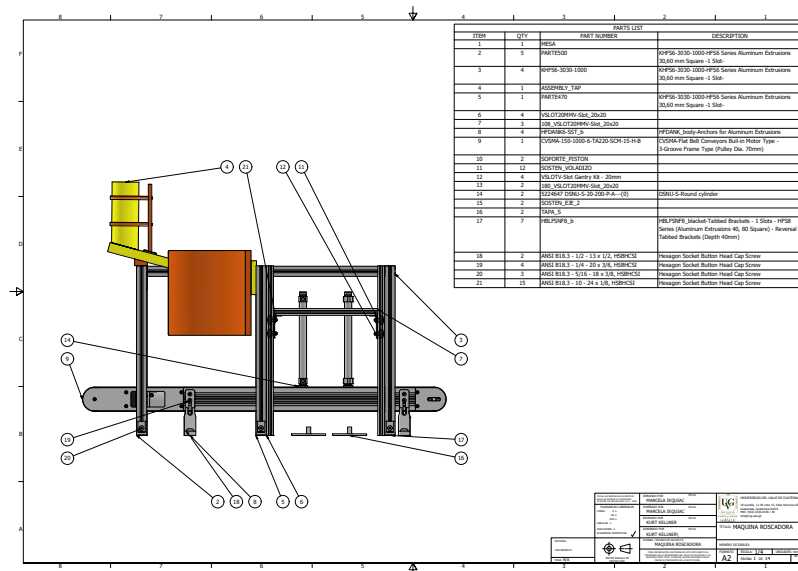


Figura 37: CAD máquina

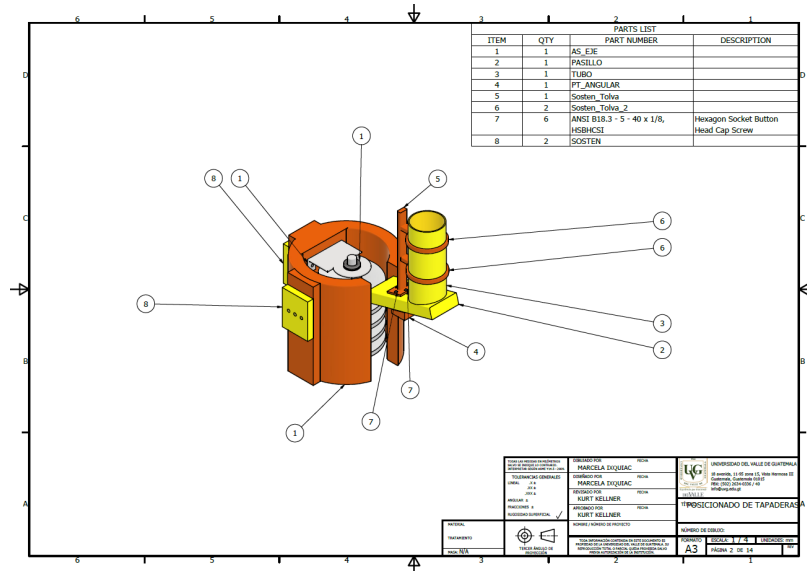


Figura 38: Ensamble transporte de tapaderas

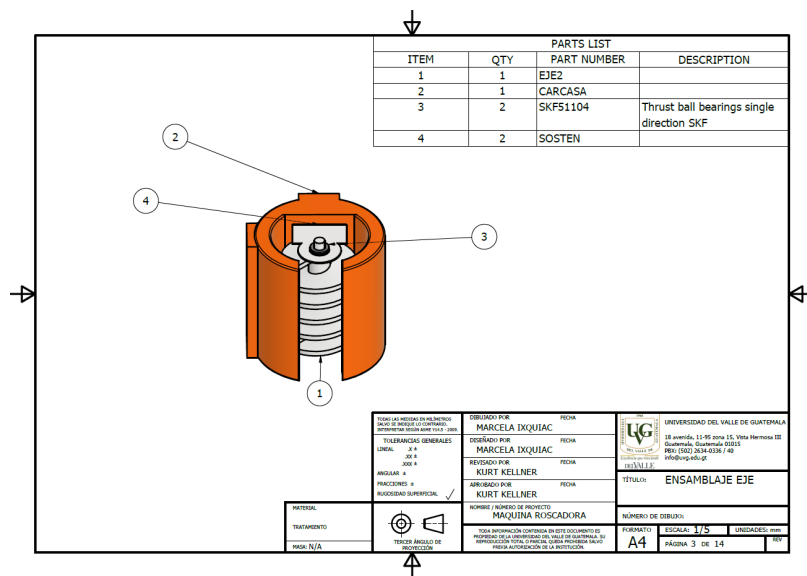


Figura 39: Ensamble eje

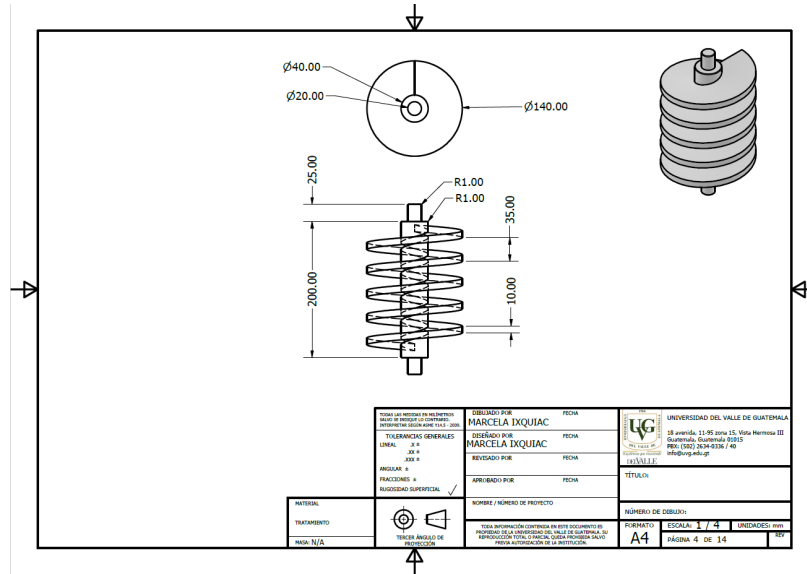


Figura 40: Tornillo sin fin

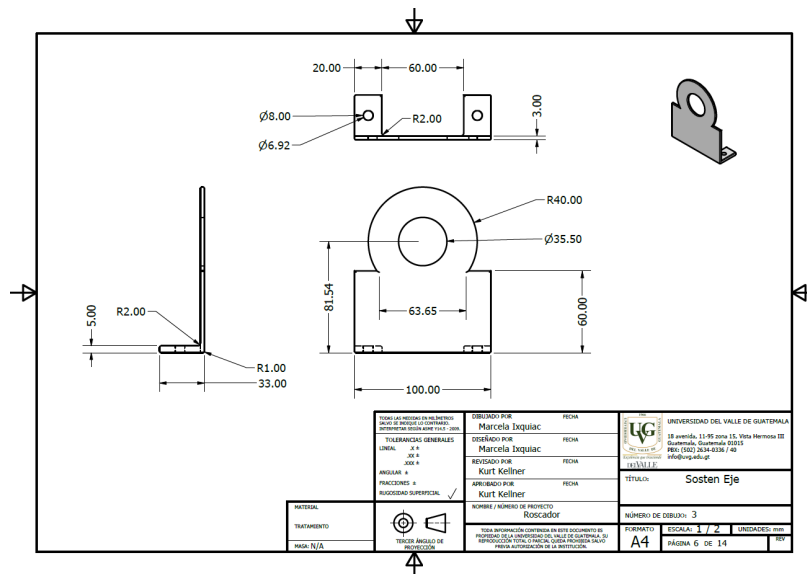


Figura 41: Sostén de eje

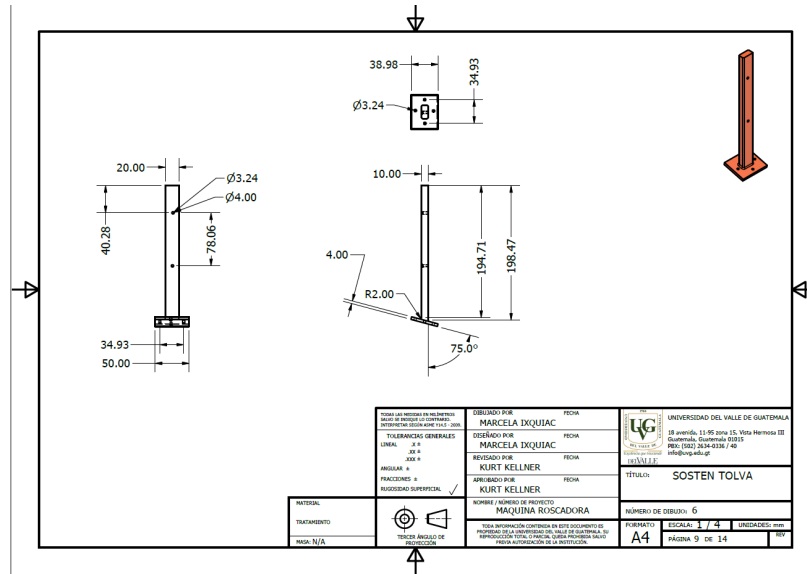


Figura 44: Sosten tolva

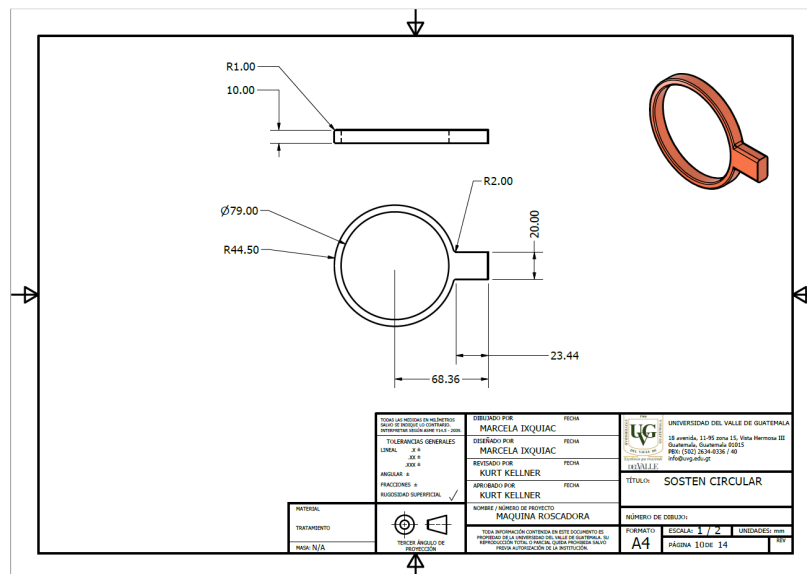


Figura 45: Sosten circular

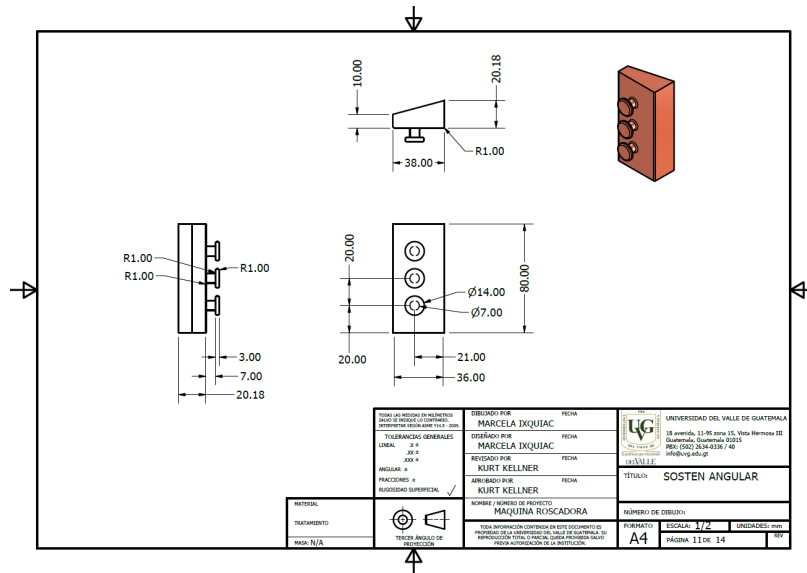


Figura 46: Sostén angular

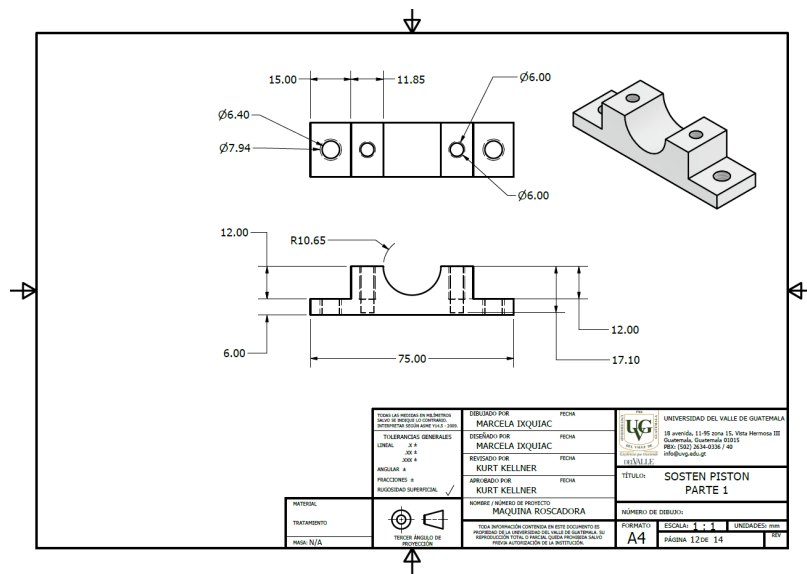


Figura 47: Sostén pistón neumático

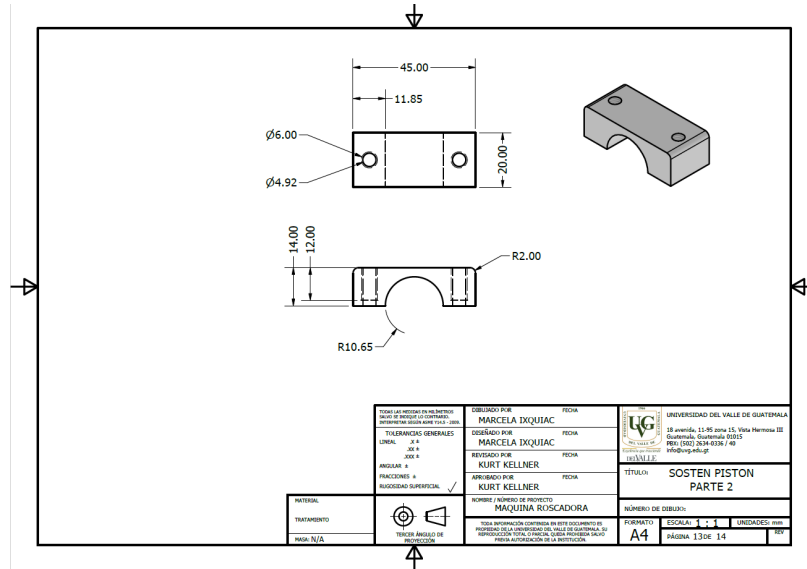


Figura 48: Base sostén pistón neumático

