
Construcción y puesta en marcha de una máquina clasificadora de botellas para el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

Frank Debir Martínez Gonzalez



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Construcción y puesta en marcha de una máquina
clasificadora de botellas para el Laboratorio de
Automatización Industrial de la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Frank Debir Martínez Gonzalez
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
clasificadora de botellas para el Laboratorio de
Automatización Industrial de la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Frank Debir Martínez Gonzalez
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.

La realización de este proyecto marca el cierre de mis estudios universitarios en la Universidad del Valle de Guatemala. Es increíble todo lo que he aprendido en estos cinco años de carrera, no solo a nivel académico, sino también a nivel profesional.

Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de estudiar en esta casa de estudios y por nunca haberme dejado solo, a pesar de las distintas pruebas que enfrenté durante estos años, saliendo adelante con su ayuda. También agradezco a mi familia, especialmente a mi papá, mamá y abuelita, quienes siempre me apoyaron desde el inicio de mi carrera, acompañándome en mis tristezas y alegrías. Agradezco también a aquellos catedráticos que, no solo querían impartir un curso, sino que también buscaban que aprendiera y me exhortaban a esforzarme en la vida para cumplir mis metas.

Por supuesto, agradezco también a todos mis amigos y compañeros que me acompañaron en estos cinco años. Es increíble la cantidad de personas que tuve la oportunidad no solo de conocer, sino también de compartir experiencias. Sin mis amigos, la universidad no hubiera sido la misma; a pesar de que todos nos enfocábamos en nuestros cursos universitarios, nunca faltaron risas y alegrías. En ellos encontré otra familia en mi casa de estudios. Me llevo muchos recuerdos y experiencias en mi corazón que apreciaré y recordaré toda mi vida.

A pesar de que me siento feliz de terminar mi carrera universitaria, no puedo negar que dejó una gran parte de mí atrás y no puedo evitar sentirme nostálgico por todo lo vivido y por decirle adiós a esta gran etapa de mi vida. A mis amigos les deseo lo mejor en la vida y que logren cumplir sus sueños y metas. Aunque dejamos esta vida universitaria atrás, espero que la mayoría de ellos sigan siendo parte de mi vida y yo de las suyas.

Por último, quiero alentar a los lectores de este trabajo de graduación a que no se desanimen y sigan luchando por cumplir sus sueños. Este trabajo de graduación es un ejemplo de que las metas pueden lograrse con esfuerzo y dedicación, tal como lo estoy logrando ahora. Estoy muy agradecido por todo lo vivido en estos cinco años y emocionado por la siguiente etapa de mi vida. Aunque mi experiencia universitaria ha sido una de las mejores de mi vida, sé que lo que viene será aún mejor.

No me queda más que decir: gracias.

Prefacio	III
Lista de figuras	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1. Construcción y puesta en marcha de una máquina clasificadora de botellas para el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala	2
2.2. Sistemas didácticos Festo	5
2.3. Estación de clasificación MPS D	5
3. Justificación	7
4. Objetivos	8
4.1. Objetivo general	8
4.2. Objetivos específicos	8
5. Alcance	9
6. Marco teórico	11
6.1. Tablero de Control	11
6.2. Máquina Industrial	14
7. Rediseño de la máquina	19
7.1. Diseño original	19
7.2. Cambios propuestos	20
7.2.1. Diseño final	21

8. Ensamblaje	22
8.1. Perfiles	22
8.2. Impresiones 3D	28
8.2.1. Carcasa para sensor	28
8.2.2. Uniones para perfiles	29
8.2.3. Prototipos para el mecanismo de clasificación	32
8.3. Ensamblaje de la estructura	38
8.4. Ensamblaje del mecanismo de clasificación	48
9. Conexiones	58
9.1. Esquemáticos generales de conexiones	58
9.2. Arduino	58
9.2.1. Sensor a Arduino	59
9.2.2. Arduino a PLC	60
9.3. PLC	60
9.3.1. PLC a puente H	60
9.3.2. Puente H a motor	61
10. Programación	63
10.1. Programación general	63
10.1.1. Programación Arduino	63
10.1.2. Programación PLC	64
10.2. Puesta en marcha	65
11. Conclusiones	72
12. Recomendaciones	73
13. Bibliografía	74
14. Anexos	76

Lista de figuras

1.	<i>Máquina de clasificación</i>	3
2.	<i>Montaje del sensor</i>	3
3.	<i>Mecanismo de clasificación</i>	4
4.	<i>Distribución de conexiones</i>	4
5.	<i>Estación de clasificación MPS-D</i>	5
6.	<i>PLC Simatic S7-1500</i>	12
7.	<i>UT 4 - borne de paso</i>	13
8.	<i>Serie de relés universales PLC</i>	14
9.	<i>Perfil de aluminio</i>	15
10.	<i>Banda transportadora</i>	16
11.	<i>Sensor de color TCS3200</i>	17
12.	<i>Motor DC 12V</i>	18
13.	<i>Máquina de clasificación</i>	20
14.	<i>Primer prototipo de la máquina</i>	21
15.	<i>Midiendo perfil</i>	23
16.	<i>Midiendo perfil</i>	24
17.	<i>Cortando perfil</i>	24
18.	<i>Perfil sin rectificar</i>	25
19.	<i>Configuración de rpm</i>	25
20.	<i>Fresa HSS 12 mm</i>	26
21.	<i>Fresando perfiles</i>	26
22.	<i>Perfiles fresados</i>	27
23.	<i>Perfiles y herramientas</i>	27
24.	<i>Carcasa sensor de color</i>	29
25.	<i>Tapadera de carcasa del sensor de color</i>	29
26.	<i>Primer prototipo unión en L</i>	30
27.	<i>Segundo prototipo unión en L</i>	30
28.	<i>Prototipo final unión en L</i>	31
29.	<i>Prueba de unión de perfiles</i>	32
30.	<i>Carrito V-Slot</i>	33

31.	Piezas para Rodamientos	33
32.	<i>Pieza para carrito V-Slot</i>	34
33.	<i>Pieza para eje sin fin</i>	34
34.	<i>Primer prototipo uniones de placa deslizante</i>	35
35.	<i>Segundo prototipo uniones de placa deslizante</i>	35
36.	<i>Pieza para motor y guías</i>	36
37.	<i>Segundo prototipo de anillo</i>	37
38.	<i>Pieza de sujeción</i>	37
39.	<i>Soporte final de carrera</i>	38
40.	<i>Perfiles para marco de la mesa</i>	39
41.	<i>Esquina del marco de la mesa</i>	40
42.	<i>Ensamblaje de perfiles de 440 mm</i>	41
43.	<i>Cerrando el marco</i>	41
44.	<i>Ensamblando perfiles de la mesa</i>	42
45.	<i>Perfiles para patas de la mesa</i>	42
46.	<i>Uniendo patas de la mesa</i>	43
47.	<i>Soporte de 440 mm</i>	43
48.	<i>Tuerca T-Slot</i>	44
49.	<i>Soportes de 1,000 mm</i>	44
50.	<i>Estructura ensamblada</i>	45
51.	<i>Perfiles de 1,000 mm</i>	46
52.	<i>Perfiles de 800 mm</i>	46
53.	<i>Perfiles de 500 mm</i>	47
54.	<i>Perfiles de 440 mm</i>	47
55.	<i>Uniones para mecanismo de clasificación</i>	48
56.	<i>Rodamientos ensamblados</i>	49
57.	<i>Ensamblaje de placa deslizante</i>	50
58.	<i>Marco de mecanismo de clasificación</i>	51
59.	<i>Motor acoplado al marco</i>	51
60.	<i>Eje sin fin acoplado</i>	52
61.	<i>Guías unidas con soportes</i>	52
62.	<i>Varilla de 100 mm acoplada</i>	53
63.	<i>Mecanismo de clasificación acoplado a estructura</i>	54
64.	<i>Marco de sujeción ensamblado</i>	54
65.	<i>Visagras ensambladas</i>	55
66.	<i>Perfiles de 300 mm</i>	56
67.	<i>Perfiles de 70 mm</i>	56
68.	<i>Perfiles de 270 mm</i>	57
69.	<i>Esquemático general de conexiones</i>	58
70.	<i>Esquemático sensor a Arduino</i>	59
71.	<i>Esquemático Arduino a PLC</i>	60
72.	<i>Esquemático PLC a módulo de puente H</i>	61
73.	<i>Esquemático módulo de puente H a motor</i>	62
74.	<i>Diagrama de flujo programación Arduino</i>	64
75.	<i>Diagrama de flujo programación PLC</i>	65
76.	<i>Montaje de banda transportadora</i>	66

77.	<i>Montaje nuevo motor</i>	66
78.	<i>Soporte final de carrera</i>	67
79.	<i>Espacio del sensor</i>	67
80.	<i>Soporte sensor</i>	68
81.	<i>Sistema de control electrónico</i>	68
82.	<i>Alimentación del sistema de control electrónico</i>	69
83.	<i>Eficiencia de clasificación</i>	70
84.	<i>Prototipo final</i>	71
85.	<i>Máquina clasificadora de botellas</i>	76
86.	<i>Video del funcionamiento de la máquina</i>	77

Este trabajo de graduación consistió en el rediseño y ensamblaje de una máquina clasificadora de botellas que distingue los envases según el color de su tapadera. El objetivo principal del proyecto fue aportar al Laboratorio de Automatización Industrial de una herramienta didáctica que permita a los estudiantes aprender y practicar procesos de clasificación automatizados, simulando condiciones industriales en un entorno académico.

La idea de desarrollar este proyecto surge de la necesidad de contar con equipos que faciliten la enseñanza de la automatización de procesos industriales en la Universidad del Valle de Guatemala. Dado el crecimiento del sector industrial en el país, este tipo de proyectos contribuye a preparar profesionales capaces de enfrentar los retos de un entorno laboral cada vez más automatizado. La máquina clasificadora se convierte en un recurso didáctico de gran valor al integrar tecnologías de sensores, controladores y actuadores que se utilizan en la industria.

Para la estructura de la máquina, se emplearon perfiles de aluminio de 30x30 mm, lo que permite que el diseño sea modular y adaptable a diversas necesidades en el futuro. También se utilizaron perfiles de 20x20 mm en el mecanismo de clasificación. Este mecanismo cuenta con un motor de 12V, controlado mediante señales digitales, lo cual asegura una operación precisa y eficiente.

La detección del color de las tapaderas se realiza mediante el sensor TCS3200, que está conectado a un microcontrolador Arduino Uno. Este dispositivo recibe los datos del sensor y los transmite al PLC como señales digitales. Una vez que el PLC recibe estas señales, envía comandos a un puente H, el cual controla la dirección del motor DC encargado de desplazar las botellas.

El sistema se complementa con una banda transportadora, que moviliza las botellas a lo largo del proceso hasta el punto final, donde se realiza la clasificación según el color de la tapadera, además, cuenta con la posibilidad de ser modificado y mejorado en el futuro, ofreciendo a los estudiantes una experiencia práctica en el campo de la automatización industrial.

This graduation project involved redesigning and assembling a bottle sorting machine that distinguishes containers based on the color of their caps. The project's main objective was to contribute to the Industrial Automation Laboratory with a didactic tool that enables students to learn and practice automated sorting processes, simulating industrial conditions in an academic environment.

The idea for this project arose from the need to have equipment that facilitates the teaching of industrial process automation at Universidad del Valle de Guatemala. Given the growth of the country's industrial sector, such projects help prepare professionals capable of facing the challenges of an increasingly automated work environment. The sorting machine becomes a highly valuable educational resource by integrating sensor, controller, and actuator technologies commonly used in the industry.

The machine's structure was built using 30x30 mm aluminum profiles, allowing the design to be modular and adaptable to various needs in the future. Additionally, 20x20 mm profiles were used in the sorting mechanism. This mechanism features a 12V motor controlled by digital signals, ensuring precise and efficient operation.

The color detection of the bottle caps is performed using the TCS3200 sensor, which is connected to an Arduino Uno microcontroller. This device receives data from the sensor and transmits it to the PLC as digital signals. Once the PLC receives these signals, it sends commands to an H-bridge, which controls the direction of the DC motor responsible for moving the bottles.

The system is complemented by a conveyor belt that transports the bottles throughout the process to the final sorting point based on the color of their caps. Furthermore, it offers the possibility of being modified and improved in the future, providing students with practical experience in the field of industrial automation.

CAPÍTULO 1

Introducción

Los procesos automatizados están cada vez más presentes en la industria, permitiendo el desarrollo de proyectos más rápidos, eficientes y precisos. Las máquinas clasificadoras juegan un papel crucial en muchos de estos procesos, separando diferentes productos y reduciendo tanto los costos como los errores que podrían surgir de un proceso manual.

Este trabajo de graduación tiene el objetivo en el rediseño, fabricación y puesta en marcha de una máquina clasificadora de botellas basada en el color de su tapadera. Partiendo de un diseño previo, la máquina fue modificada para adaptarse a un entorno más didáctico en la Universidad del Valle de Guatemala. La estructura se construyó utilizando perfiles de aluminio de 30x30 mm, mientras que el mecanismo de clasificación se desarrolló con perfiles de 20x20 mm, lo que facilita que la máquina sea modular y se pueda adaptar a necesidades futuras.

La máquina también integra un sensor de color TCS3200, que envía datos a un microcontrolador Arduino Uno. Este microcontrolador actúa como intermediario, enviando señales digitales al PLC (controlador lógico programable), que a su vez controla la dirección del motor DC de 24V encargado de mover el mecanismo de clasificación y asegurar la orientación correcta de las botellas.

Este proyecto aborda temas de mecánica, diseño y automatización industrial, aplicados de manera didáctica para fortalecer el aprendizaje práctico en ingeniería. En el aspecto mecánico, se trabaja en la construcción de una estructura estable y modular, mientras que en el diseño se busca una configuración intuitiva y segura para el entorno educativo. La automatización industrial se aborda mediante el uso de sensores, PLC y microcontroladores, permitiendo que los estudiantes se familiaricen con tecnologías avanzadas de control y clasificación automática, esenciales en el contexto industrial moderno.

En Guatemala, las industrias han incrementado el uso de la automatización de procesos en los últimos años, dando la oportunidad a más profesionales a dedicarse a este campo. Por lo anterior mencionado, es importante que los estudiantes aprendan acerca de la automatización industrial.

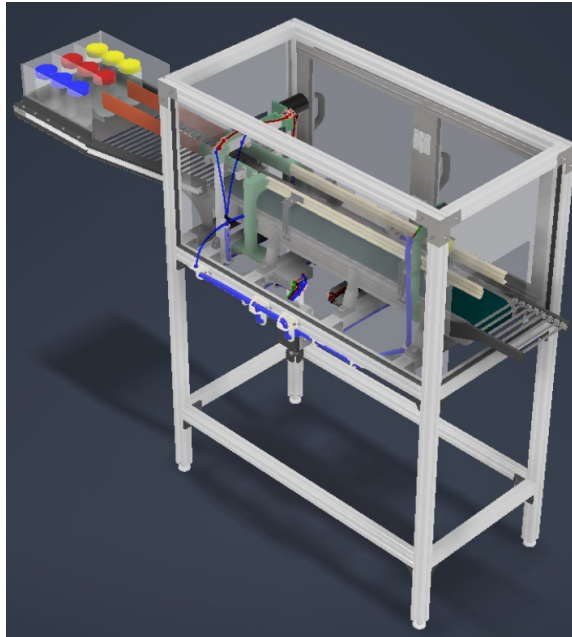
En la Universidad del Valle de Guatemala, se han realizado diversos trabajos de graduación con el objetivo de replicar una línea de producción en el Laboratorio de Automatización Industrial del Centro de Innovación y Tecnología. Este nuevo edificio de la universidad fue diseñado como un espacio innovador que busca impulsar el desarrollo de soluciones técnicas y prácticas en automatización y manufactura, orientadas a mejorar la eficiencia y productividad en diversos sectores industriales del país.

El enfoque de estos trabajos fue el proceso de limpieza, llenado, envasado y clasificación de productos, ya sean alimenticios o de higiene.

2.1. Construcción y puesta en marcha de una máquina clasificadora de botellas para el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

Como puede observarse en la Figura 13, este es el diseño de una máquina clasificadora de botellas según el color de la tapadera, es la base que se utilizará para este trabajo de graduación, en el que se basa todo el desarrollo posterior. Este diseño, previamente presentado en un trabajo de graduación anterior realizado en la Universidad del Valle de Guatemala realizado por el Ingeniero Dennis Reyes [1], representa una solución para el aprendizaje de la automatización de procesos industriales.

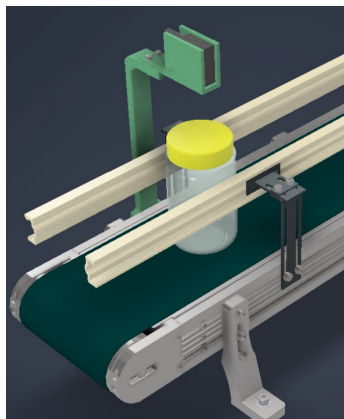
Figura 1: *Máquina de clasificación*



Obtenido de [1]

La estructura de esta máquina está compuesta de perfiles de aluminio, lo cual garantiza estabilidad y precisión en la manipulación de las botellas. Sobre esta estructura está colocada la banda transportadora, que es donde se inicia el proceso. Como se observa en la Figura 2, el frasco pasa por debajo de un sensor de color industrial, se utilizó el sensor 45CLR ColorSight de la marca Allen-Bradley, el cual es el componente clave de la máquina, ya que identifica con precisión los colores de las tapaderas de las botellas.

Figura 2: *Montaje del sensor*

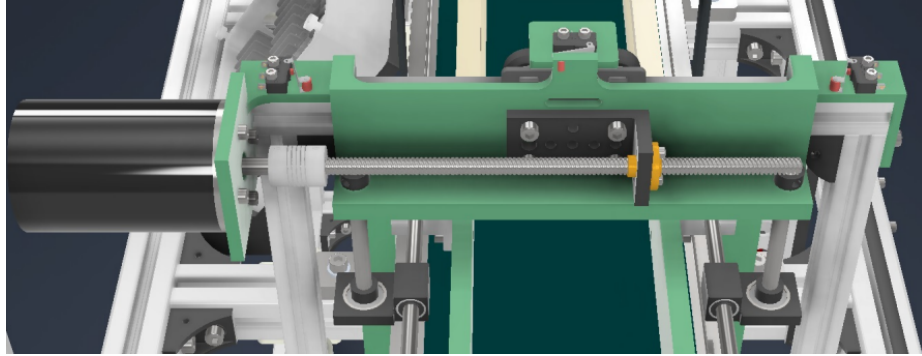


Obtenido de [1]

Este sensor proporciona la información necesaria para la clasificación. Por medio de un

motor de corriente continua (DC), el mecanismo de clasificación se mueve de izquierda a derecha con la ayuda de un tornillo sinfín y dos finales de carrera para lograr una separación adecuada de las botellas según su color.

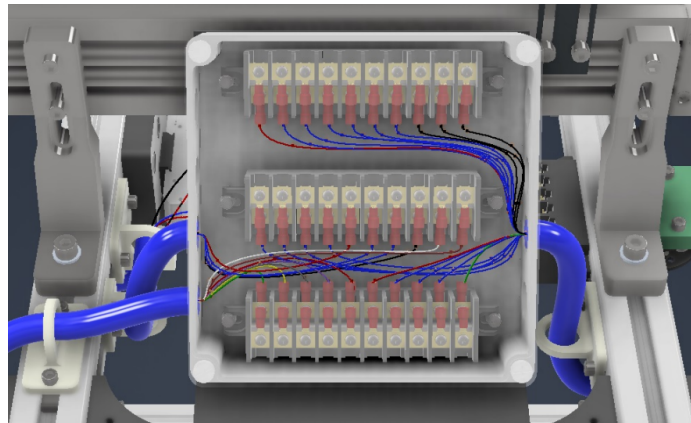
Figura 3: *Mecanismo de clasificación*



Obtenido de [1]

Por otro lado, el sistema eléctrico está diseñado para integrar las conexiones de los motores, los sensores de finales de carrera y el sensor de color, los cuales son esenciales para el funcionamiento coordinado de la máquina. Los motores controlan el movimiento de la banda transportadora y del mecanismo de clasificación, mientras que los sensores de finales de carrera aseguran la precisión en los límites de desplazamiento del mecanismo.

Figura 4: *Distribución de conexiones*



Obtenido de [1]

2.2. Sistemas didácticos Festo

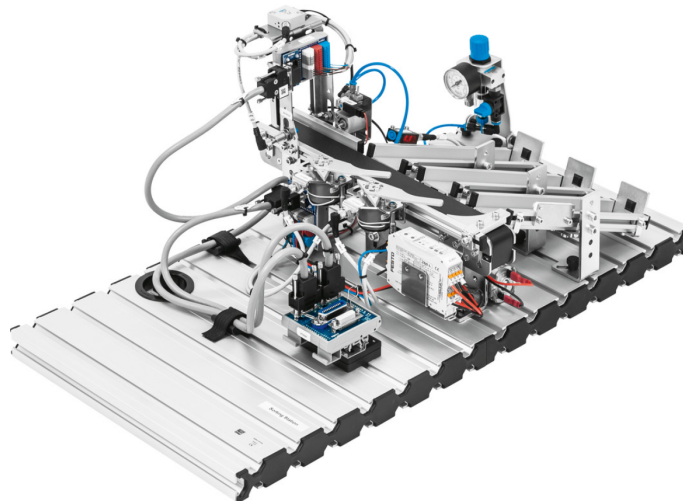
Festo es una empresa de renombre mundial en el campo de la automatización industrial, especialmente conocida por sus módulos didácticos diseñados para uso educativo. Estos sistemas permiten que estudiantes y futuros profesionales aprendan de forma práctica, simulando procesos industriales. La versatilidad de los módulos de Festo facilita que los usuarios comprendan cómo integrar sensores, actuadores y sistemas de control en situaciones reales. Esto les brinda habilidades concretas para trabajar en la industria, ayudando a cerrar la brecha entre la teoría y la práctica y preparando mejor a los estudiantes para operar en entornos industriales.

2.3. Estación de clasificación MPS D

La estación de clasificación MPS D permite seleccionar y separar piezas según sus propiedades, utilizando una combinación de sensores ópticos y detectores inductivos para lograr una clasificación precisa. Para ello, emplea sensores de reflexión directa, barreras de luz y sensores de proximidad. El proceso inicia cuando un sensor detecta una pieza y activa su transporte en la cinta hasta el punto de clasificación. Allí, un cilindro neumático detiene la pieza para que los sensores puedan analizar sus características, tras lo cual una compuerta eléctrica desvía la pieza hacia una de las tres rampas de clasificación.

Esta estación es modular y puede utilizarse sola o junto con otras estaciones, adaptándose fácilmente a distintos proyectos. Además de su función principal, es una herramienta educativa útil para enseñar controladores neumáticos y la programación de sistemas de clasificación. Su diseño permite que los estudiantes aprendan desde la detección de materiales hasta la manipulación y clasificación, brindándoles una experiencia práctica valiosa [2].

Figura 5: Estación de clasificación MPS-D



Obtenido de [2]

La importancia de esta mini línea de automatización radica en su capacidad para preparar a los estudiantes para los desafíos del mundo laboral, donde la automatización desempeña un papel cada vez más importante en la optimización de procesos industriales. Además, los estudiantes adquieren habilidades y conocimientos altamente valorados por la industria.

Con el nuevo Laboratorio de Automatización Industrial en el Centro de Innovación y Tecnología (CIT) de la Universidad del Valle de Guatemala, se presenta la oportunidad de enseñar no solo desde una perspectiva teórica, sino también de desarrollar habilidades prácticas sobre el funcionamiento de procesos de producción y control de calidad, esenciales en las grandes industrias tanto a nivel nacional como internacional. Esta experiencia práctica adquirida en el laboratorio ofrecerá a los estudiantes una ventaja competitiva en el mercado laboral.

Para lograr esto, se consideró el diseño mecánico de un proyecto de graduación anterior. La finalidad de este proyecto es ayudar a los estudiantes del curso de Automatización Industrial a familiarizarse con máquinas y sistemas industriales. La interacción con estos equipos, junto con el uso de paneles de PLC en el laboratorio, es fundamental para su desarrollo profesional.

Dado que en la industria es cada vez más común el uso de sistemas automatizados y equipos avanzados, contar con estaciones de aprendizaje permite a los estudiantes practicar con estos elementos en un entorno controlado. Estas máquinas, como la estación de clasificación, facilitan la comprensión y manipulación de equipos similares a los del entorno industrial, aunque en una escala menor y con un enfoque educativo. De esta manera, el laboratorio se convierte en un espacio de aprendizaje práctico donde los estudiantes adquieren experiencia directa en técnicas de automatización y control, cerrando la brecha entre la teoría y la práctica en un entorno seguro.

Por estas razones, es indispensable contar con estaciones de aprendizaje como esta máquina de clasificación. Estas estaciones contribuyen al aprendizaje de la manipulación de equipos industriales y acercan a los estudiantes a la experiencia de trabajo en un entorno real, todo esto en una escala menor y con un enfoque orientado al área educativa.

4.1. Objetivo general

Construcción y puesta en marcha de una máquina clasificadora de botellas didáctica para el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Modificación y adaptación del diseño de la máquina con base en los componentes y partes disponibles.
- Construcción y ensamblaje de la máquina.
- Programación y puesta en marcha de la máquina.

Este proyecto tiene como objetivo la fabricación de una máquina clasificadora de botellas para uso didáctico en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

Para ello, se cubrieron diversos aspectos y elementos, como el diseño mecánico y el ensamblaje de la máquina, el desarrollo e integración de un sistema electrónico para la comunicación entre el sensor de color y el PLC, la implementación de sensores, motores y actuadores, y, finalmente, las pruebas de funcionamiento necesarias para la puesta en marcha de la máquina.

El alcance de esta tesis se delimita por los siguientes factores: este proyecto no abarca una línea de producción completa, ya que se centra exclusivamente en el desarrollo del sistema de clasificación. No se consideró el uso de sensores industriales, como el sensor de color, debido al enfoque didáctico del proyecto, donde no se requiere alta precisión. Además, se utilizaron varias piezas impresas en 3D, lo que implica una menor resistencia y durabilidad en comparación con equipos industriales. Por último, esta máquina está diseñada específicamente para su uso en el laboratorio del curso, y no está pensada para operar en entornos industriales.

La máquina está planificada como una herramienta didáctica para que los estudiantes del laboratorio se familiaricen con procesos industriales, en este caso, la clasificación automatizada. También les permite aprender a integrar sistemas, como el Arduino Uno, al PLC, y programar directamente en este último.

Algunas restricciones a destacar incluyen el presupuesto limitado y los materiales no industriales empleados, lo que resultó en una funcionalidad básica de clasificación.

Este proyecto ofrece múltiples posibilidades de mejora para el futuro. La estructura, construida con perfiles de aluminio de 30x30 mm, permite que la máquina sea modular, lo que significa que puede adaptarse a diferentes necesidades mediante la reconfiguración de los perfiles o la adición de nuevos elementos. Asimismo, es posible agregar sensores o rieles DIN

para instalar borneras u otros componentes. Otra mejora podría ser reemplazar el sensor de color actual por uno industrial o uno con mayor precisión, manteniendo el Arduino Uno como microcontrolador. Finalmente, se podría optar por materiales más robustos para las piezas del mecanismo de clasificación, dado que la mayoría de estas fueron impresas en 3D.

La automatización industrial se ha convertido en un pilar esencial en la industria a nivel global. Este enfoque innovador ha transformado la manera en que se realizan los procesos industriales, ofreciendo soluciones que superan las capacidades humanas. En un mundo caracterizado por la creciente demanda y la competencia, la automatización se ha vuelto indispensable para las empresas que buscan optimizar sus operaciones.

En su esencia, la automatización industrial se encarga de tareas repetitivas y monótonas de manera eficiente y precisa, permitiendo a las empresas ahorrar tiempo y recursos valiosos. Además, al reducir la intervención humana, se minimizan los errores y se mejora la calidad del producto final. Desde la producción en masa hasta la personalización, la automatización ofrece una amplia gama de posibilidades adaptadas a las necesidades específicas de cada industria.

6.1. Tablero de Control

En el tablero de control encontramos elementos esenciales para el funcionamiento completo de la máquina, le brinda al operario puede observar resultados y realizar cambios del PLC de forma física sin tener que cambiar la programación, haciendo así el proceso más fácil de realizar. A continuación algunos de los elementos que encontramos en el tablero de control.

- PLC

Un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés) es esencial en la automatización industrial. Su principal tarea es controlar y gestionar los procesos industriales al enviar señales digitales y analógicas a otros dispositivos dentro de un sistema automatizado. Gracias a su capacidad para adaptarse a diversas situaciones, el PLC desempeña un papel fundamental en la supervisión y el control de grandes plantas de producción.

Dentro de un PLC, las entradas y salidas se conectan físicamente mediante terminales llamadas borneras. Estas borneras permiten la conexión de sensores, actuadores y otros dispositivos al PLC, facilitando la interacción entre el controlador y el entorno industrial.

Los PLC son básicamente procesadores digitales secuenciales programables que operan sobre variables de salida a través de una secuencia de instrucciones. Estas instrucciones, elaboradas por ingenieros o técnicos, determinan cómo el PLC responde a distintas condiciones y eventos en el entorno industrial [3] [4] .

Figura 6: *PLC Simatic S7-1500*



Obtenido de [5]

- Borneras

Estas permiten conectar los diferentes elementos al PLC por medio de cables de manera ordenada y segura, existen diferentes tipos de bornera, estas pueden cambiar según el nivel de corriente con el que se trabaje pueden soportar más o menos corriente, de esto también depende el calibre del cable que se desea conectar. De igual manera existen borneras a tierra, estas están conectadas al riel din donde se montan las borneras, estas nos ayudan en caso de sobrecargas.

Figura 7: *UT 4 - borne de paso*

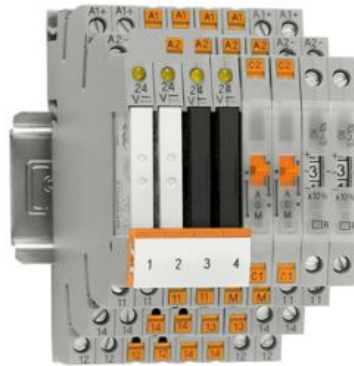


Obtenido de [6]

- Relés

Los relés son dispositivos electromecánicos o de estado sólido importantes en la automatización industrial. Existen diferentes tipos de relés, cada uno diseñado para aplicaciones específicas. Desde relés electromecánicos que utilizan bobinas y armaduras para cambiar los contactos, hasta relés de estado sólido que emplean componentes semiconductores para la conmutación sin partes móviles. Los utilizamos para accionar distintos componentes. Estos sirven como interruptores que se activan o desactivan por medio de una bobina electromagnética, en la cual se genera un campo magnético cuando se le aplica corriente. Gracias a esto, podemos accionar circuitos de alta potencia utilizando señales de control de baja potencia.

Figura 8: Serie de relés universales PLC



Obtenido de [7]

- Entradas y salidas

Son las que permiten la comunicación entre el PLC y los elementos físicos. Las entradas son las señales o datos recibidos por el PLC desde dispositivos de entrada o sensores, y pueden ser digitales o analógicas. Por otra parte, las salidas son señales enviadas por el PLC a los actuadores o dispositivos de salida. En el caso del proyecto, se utilizó únicamente entradas y salidas digitales.

6.2. Máquina Industrial

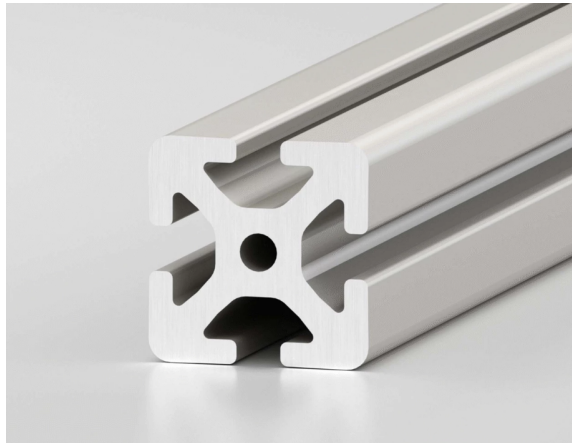
Para la creación de esta máquina SWL trabajo de graduación, se contó con distintos elementos que ayudan a formar una base sólida, además de asegurar que el mecanismo funcione adecuadamente [8]. Dentro de las máquinas industriales, existen ciertos elementos ya sea estructurales o de funcionamiento. En este caso, se hablará sobre los elementos que necesita esta máquina.

- Perfil de Aluminio

Los perfiles de aluminio son componentes estructurales muy versátiles y populares en aplicaciones industriales, ya que combinan ligereza, resistencia y modularidad. Están hechos de aleaciones de aluminio de alta resistencia, lo cual permite construir estructuras fuertes sin perder facilidad de montaje y adaptación.

Otra ventaja de los perfiles de aluminio es su resistencia a la corrosión, ideal para entornos industriales exigentes. Su diseño modular facilita tanto el armado inicial como cualquier modificación o expansión futura, permitiendo ajustar las estructuras a nuevas necesidades sin desmontarlas. Por eso, estos perfiles son muy usados en sistemas de automatización, bancadas de trabajo, soportes para maquinaria y muchas otras aplicaciones en manufactura y automatización.

Figura 9: *Perfil de aluminio*



Obtenido de [9]

- Banda transportadora

Las bandas transportadoras son sistemas esenciales en distintas industrias, ya que facilitan el movimiento de materiales o productos a lo largo de una línea de producción. Su funcionamiento básico se apoya en una cinta continua que, impulsada por motores, permite trasladar objetos de forma eficiente. Según el tipo de industria y las necesidades, las bandas pueden estar hechas de materiales como PVC, caucho, lona o acero inoxidable, lo que les da la resistencia necesaria para soportar condiciones específicas. Ayudan a reducir la intervención manual y aumentar la productividad.

Figura 10: *Banda transportadora*



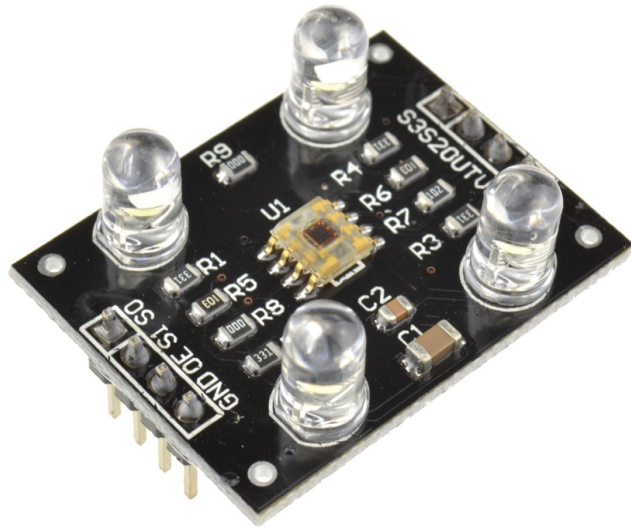
Obtenido de [10]

- Sensor de color

Este sensor nos ayuda a diferenciar y detectar colores. Dependiendo del color detectado, el PLC recibe una señal que permite mover el motor en una dirección específica para cada caso. En este proyecto, se utilizará el sensor de color TCS3200, como se muestra en la figura 11. Este sensor funciona en conjunto con un Arduino UNO, el cual está programado para la detección de color, enviando posteriormente la señal detectada al PLC para su procesamiento. El TCS3200 cuenta con cuatro LED blancos que actúan como indicadores, mejorando la precisión en la detección de colores.

Además, los rangos RGB (rojo, verde y azul) pueden configurarse para permitir la detección de diferentes colores de manera personalizada. RGB es un sistema de colores basado en la combinación de estos tres tonos básicos, que al variar en intensidad pueden generar una amplia gama de colores. El sensor TCS3200 funciona al descomponer la luz que refleja un objeto en estos tres colores, midiendo la cantidad de luz de cada uno. Luego, convierte esa información en una señal que puede ser interpretada para identificar el color del objeto. De esta forma, el sensor puede determinar si un objeto es rojo, verde, azul u otro color, según la combinación específica de los tres colores básicos [11] [12].

Figura 11: *Sensor de color TCS3200*



Obtenido de [11]

- Motor DC

Este motor se alimenta de corriente continua. El estator genera un campo magnético fijo que permite que el rotor gire, convirtiendo la energía eléctrica en energía mecánica. Para que esta conversión sea continua, es necesario que el campo magnético del estator permanezca fijo, mientras que el rotor crea su propio campo magnético cambiante al recibir la corriente [13].

Figura 12: *Motor DC 12V*



www.pololu.com

Obtenido de [14]

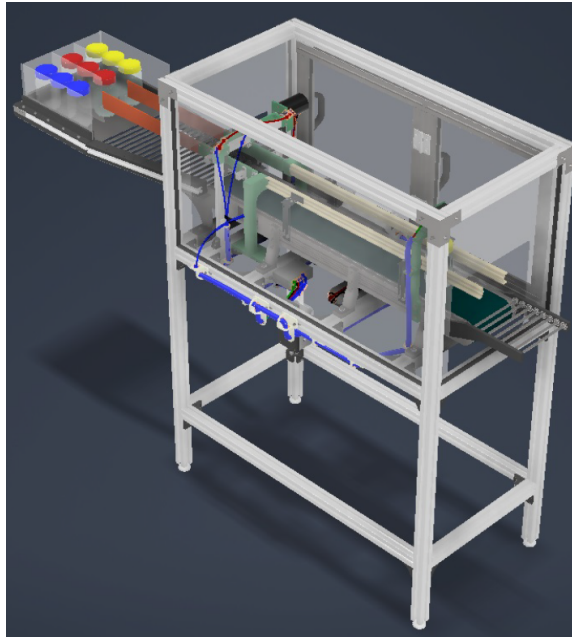
7.1. Diseño original

Como se mencionó anteriormente, este trabajo de graduación es el seguimiento de uno anterior que solo se quedó en la fase de diseño 3D, realizado por el ingeniero Dennis Reyes. El objetivo principal de este proyecto es llevar ese diseño a la fase de construcción física, tomando como base el diseño original, pero ajustándolo según las necesidades actuales. Se tomaron en cuenta factores importantes, como la disponibilidad de materiales en la Universidad del Valle de Guatemala, los componentes que se pueden adquirir localmente en Guatemala y la opción de importar aquellos que no se encuentran fácilmente en el país. El diseño original puede observarse en la Figura 13, donde se muestran las principales características y componentes del sistema propuesto en el proyecto anterior.

El presupuesto estimado para la construcción de la máquina era de Q42,000, basado en los cálculos iniciales del diseño original. Para mantenerse dentro de ese margen, se hicieron varios ajustes con el fin de optimizar los costos, sin perder de vista la funcionalidad esperada de la máquina. Dado que su propósito es educativo y no industrial, fue necesario hacer algunas modificaciones en el diseño para adaptarlo mejor al entorno académico. Esto incluyó la selección de componentes más accesibles y la eliminación de características que no serían indispensables en un ambiente educativo, pero que sí lo serían para una máquina pensada para uso continuo en la industria.

Estas modificaciones no sólo ayudaron a mantener el proyecto dentro del presupuesto, sino que también facilitaron su integración en los laboratorios de la universidad. La máquina será utilizada por los estudiantes para obtener experiencia práctica en áreas como automatización y control, lo que permitirá un aprendizaje más tangible de los procesos industriales, pero adaptado a una escala más manejable dentro de la institución, sin necesidad de invertir en materiales o características que excedan los requisitos de este entorno.

Figura 13: *Máquina de clasificación*



Obtenido de [1]

7.2. Cambios propuestos

Se realizaron varios cambios generales, tomando en consideración que la máquina es para fines didácticos, es decir, que no se utilizará en un ámbito industrial donde trabaje largas jornadas y no debe ser tan precisa. Por esta misma razón, también se busca que el presupuesto no sea elevado. Uno de los principales cambios fue en los perfiles de aluminio para la estructura de la máquina. El diseño original utilizaba perfiles de 40x40 mm, pero en el nuevo diseño se optó por perfiles de 30x30 mm, que estaban disponibles en la universidad. Además, se retiró la cabina que protegía la banda transportadora, ya que habría requerido utilizar el doble de perfiles, lo que añadiría más peso a la estructura y aumentaría el presupuesto. La eliminación de la cabina también hace que la máquina sea más modular, permitiendo agregar componentes en el futuro sin las restricciones de espacio que esta imponía.

En el diseño original se contemplaba una banda transportadora industrial de 1.20 metros de largo y 20 centímetros de ancho. Se buscó una banda con las mismas dimensiones, pero que no fuera industrial, capaz de soportar el peso necesario para el transporte de las botellas sin problemas. La nueva banda transportadora soporta hasta 11 libras.

También se cambió el sensor propuesto en el primer diseño. Originalmente, se planeaba usar el sensor de color 45CLR ColorSight de la marca Allen-Bradley, un sensor industrial con gran precisión y capacidad de trabajo continuo. Sin embargo, fue reemplazado por el sensor TCS3200, que no es industrial, pero es compatible con microcontroladores como Arduino. Este sensor utiliza una matriz de fotodiodos y un filtro de color para detectar colores rojo, verde y azul (RGB), permitiendo medir la intensidad de cada color y ofreciendo

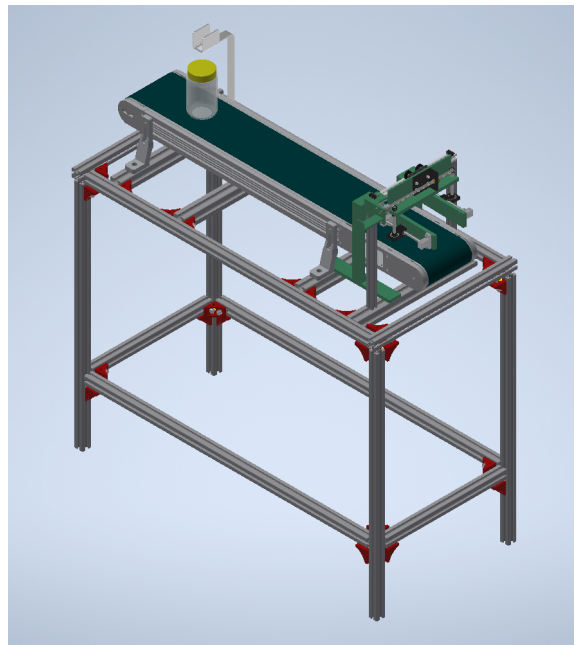
un rango amplio para diferenciar múltiples colores. Este cambio se realizó porque la máquina tiene fines didácticos, por lo que no requiere alta precisión ni largos periodos de operación. Además, el sensor industrial tenía un costo elevado, mientras que el TCS3200 es mucho más económico y accesible, sin comprometer su función principal de detectar colores.

Debido a este cambio de sensor, se incorporó un microcontrolador, el Arduino UNO, que se utiliza para recibir los datos del sensor de color TCS3200. El PLC recibe esta señal del microcontrolador y, con base en la información recibida, controla el motor de corriente continua (DC) que activa el mecanismo de clasificación según el color de la botella. El PLC sigue siendo responsable de la programación principal del proyecto.

7.2.1. Diseño final

Se realizaron varios cambios considerando que el proyecto tiene fines didácticos, por lo que los elementos utilizados no tenían que ser necesariamente de grado industrial, lo que también impactó en el presupuesto. Se eliminó la cabina que protegía la banda transportadora, ya que esto habría implicado usar casi el doble de perfiles de aluminio de 30x30 mm, aumentando tanto el peso como los costos. Además, se adaptó este prototipo para incorporar los nuevos perfiles de 30x30 mm. Estos cambios se pueden observar en la Figura 14.

Figura 14: *Primer prototipo de la máquina*



Finalmente, este diseño se modificó para incorporar los nuevos materiales y componentes disponibles, teniendo en cuenta el equipo y los recursos que se poseían o podían adquirirse. A diferencia del primer prototipo, que se centraba principalmente en el diseño mecánico de la estructura, este diseño final incluye las versiones definitivas de las adaptaciones realizadas a diversas piezas y elementos.

8.1. Perfiles

Como se mencionó anteriormente, en el diseño original del proyecto se contemplaba el uso de perfiles de aluminio de 40x40 mm para la estructura principal de la máquina. Sin embargo, fue necesario modificar el diseño, optando por perfiles más pequeños de 30x30 mm, los cuales ya estaban disponibles en la Universidad del Valle de Guatemala. Este cambio no solo respondió a la disponibilidad de materiales, sino también a la optimización de costos. Además, se adquirieron perfiles de dimensiones más reducidas, de 20x20 mm, para el ensamblaje del mecanismo de clasificación, ya que este requería un soporte más liviano, pero igualmente robusto. Esta selección de materiales permite lograr un balance adecuado entre funcionalidad y eficiencia en la construcción del equipo.

Aunque trabajar con este tipo de perfiles de aluminio no es la opción más económica, es la más adecuada considerando que el proyecto debe simular un entorno industrial. Estos perfiles son los más utilizados en ese tipo de aplicaciones. Además de su resistencia, la mayor ventaja que ofrecen es su estructura modular, gracias a los rieles internos de T-Slot y V-Slot, lo que permite adaptar el diseño a nuestras necesidades y facilitar la incorporación de nuevos elementos en el futuro.

Inicialmente, se recibieron 16 perfiles de 30x30 mm, de un metro de largo cada uno. Como se necesitaban diferentes longitudes para la estructura y el mecanismo de clasificación, se procedió a cortarlos. El proceso fue el siguiente:

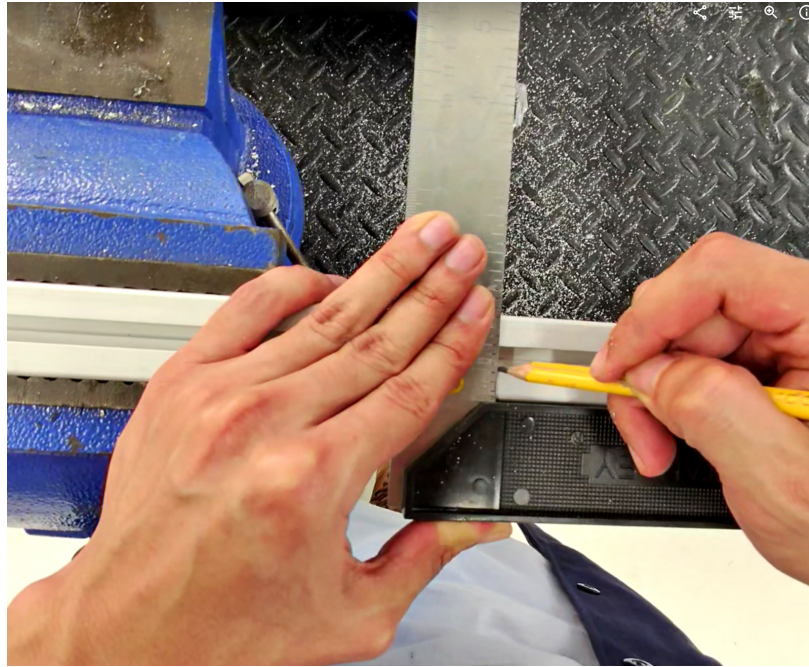
Con las medidas y la cantidad necesarias previamente definidas, los perfiles se colocaban en una prensa para evitar que se movieran durante el corte. Luego, con la ayuda de una cinta métrica, una escuadra y un lápiz/marcador, se realizaban marcas para definir el largo a cortar. Puede verse el proceso en la Figura 15.

Figura 15: *Midiendo perfil*



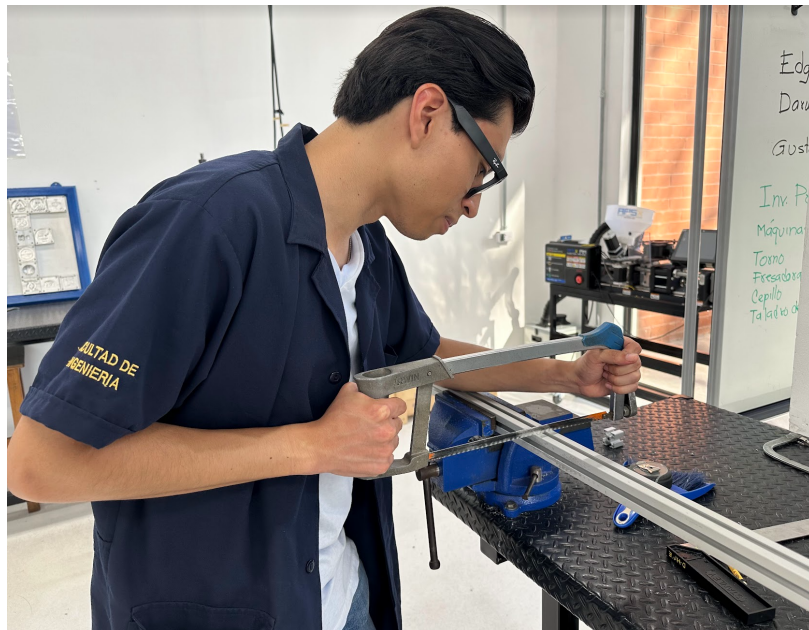
Durante el proceso de medición, se decidió agregar 3 mm adicionales a la longitud original. Esto se hizo porque, al no contar con la precisión necesaria en el corte inicial, era fundamental dejar un pequeño margen de seguridad. Este margen permitiría rectificar el perfil más adelante, utilizando una fresadora, para ajustarlo a la longitud exacta y asegurar que el acabado fuera uniforme y consistente en toda la pieza. De esta manera, se evita posibles errores que pudieran comprometer la calidad del resultado final.

Figura 16: *Midiendo perfil*



Una vez que se marcó el perfil con la ayuda de la escuadra, se utilizó una sigueta para cortar lo más preciso posible siguiendo la línea previamente trazada.

Figura 17: *Cortando perfil*



Como se puede observar en la Figura 18, los cortes realizados no fueron exactos ni precisos, lo que dejó los perfiles con bordes filosos y desiguales. Sin embargo, gracias al margen que se dejó en cada corte, es posible rectificarlos en la fresadora, logrando así que

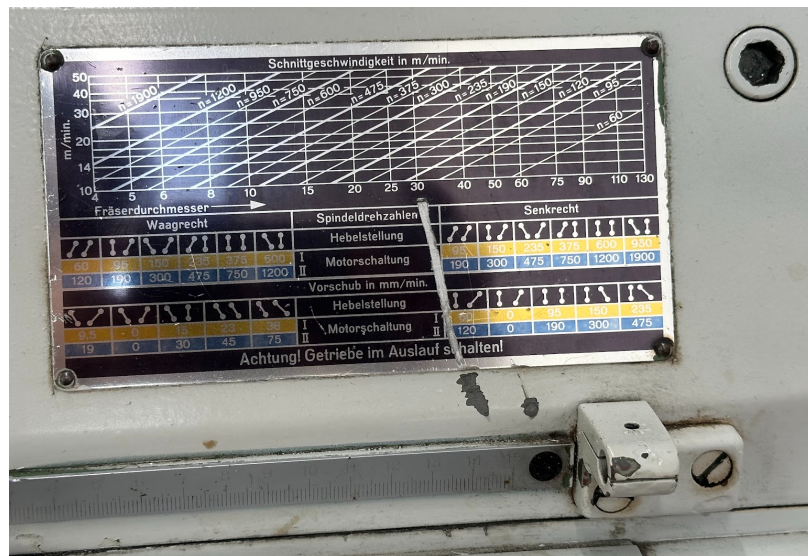
el perfil quede con la longitud exacta.

Figura 18: *Perfil sin rectificar*



Para corregir y ajustar los perfiles a la longitud requerida, se utilizó una fresadora. Una vez cortados, los perfiles se agruparon según su longitud. Como referencia, se tomó el lado no cortado de los perfiles, colocándolos juntos en la fresadora para asegurar que todos tuvieran la misma longitud. El proceso de fresado se realizó en incrementos de 0.5 mm por iteración, con el fin de evitar dañar la fresa. Se configuró la fresadora a 750 revoluciones por minuto (RPM), como se puede observar en la Figura 19.

Figura 19: *Configuración de rpm*



Se puede observar en la Figura 20 que se utilizó una fresa de 12 mm de acero de alta

velocidad (HSS) porque es un material que ofrece resistencia al desgaste y capacidad para soportar altas temperaturas sin perder su dureza, lo que lo convierte en una opción confiable para cortar materiales como el aluminio. Esto permite mantener la precisión y durabilidad durante el proceso sin comprometer la productividad. [15]

Figura 20: *Fresa HSS 12 mm*



En la Figura 21 se puede observar el proceso de fresado de los perfiles.

Figura 21: *Fresando perfiles*



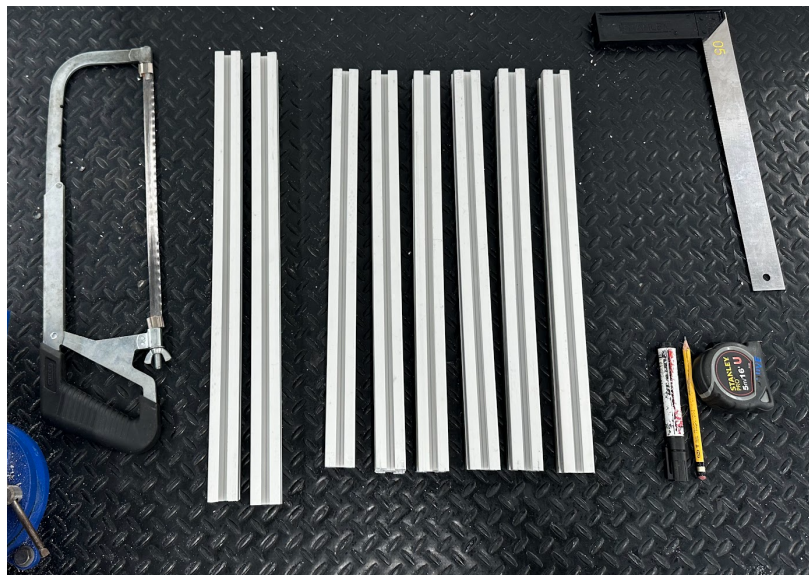
Se midieron los perfiles y se realizaron marcas para definir hasta dónde se debía rectificar con la fresadora, y se verificaba continuamente con la ayuda de una cinta métrica para garantizar que no se excediera la medida. Una vez rectificadas, los perfiles quedaban exactamente con la misma longitud. Este proceso se llevó a cabo en grupos de 2 o 3 perfiles, dependiendo de la cantidad y la longitud de los mismos. En la Figura 22 se puede observar el proceso de fresado.

Figura 22: *Perfiles fresados*



Este proceso se repitió para todos los perfiles utilizados en el proyecto, tanto para los de 30x30 mm como para los de 20x20 mm, garantizando así que todos tuvieran la longitud correcta. En la Figura 23 se pueden observar algunos de los perfiles cortados y rectificados, junto con las herramientas empleadas en este proceso.

Figura 23: *Perfiles y herramientas*



Para la construcción de la estructura de la máquina, se utilizaron perfiles de 30x30 mm de diferentes longitudes. A continuación, se detallan la cantidad y las longitudes de cada perfil. En la siguiente sección de ensamblaje de la estructura, se especificará para qué parte de la máquina se utilizó cada uno de estos perfiles.

- 5 perfiles: 1,000 mm.
- 4 perfiles: 800 mm.
- 2 perfiles: 500 mm.
- 6 perfiles: 440 mm.

Para la fabricación del mecanismo de clasificación de la máquina, se utilizaron perfiles de 20x20 mm de diferentes longitudes. A continuación, se detalla la cantidad y la longitud de cada perfil. En la siguiente sección de ensamblaje del mecanismo de clasificación, se especificará para qué parte de la máquina se utilizó cada uno de estos perfiles.

- 3 perfiles: 300 mm.
- 4 perfiles: 70 mm.
- 2 perfiles: 270 mm.

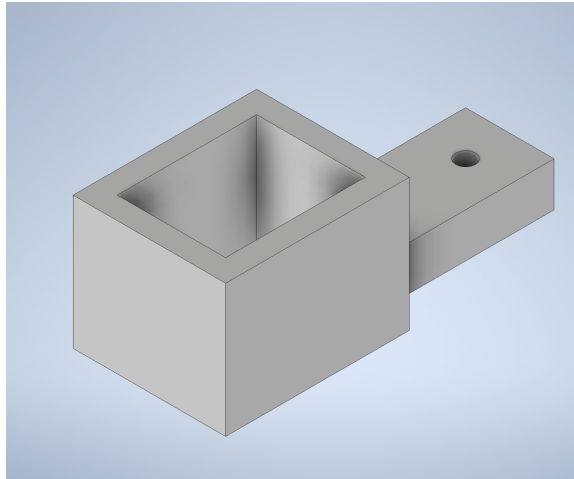
8.2. Impresiones 3D

En esta sección se describirá sobre las impresiones 3D que se utilizaron para la fabricación de la máquina clasificadora de botellas. Se realizaron diferentes prototipos en 3D de algunas piezas que se solicitaron comprar en el extranjero. Mientras se completaba este proceso y las piezas llegaban a Guatemala, se imprimieron prototipos para avanzar en el ensamblaje y realizar pruebas preliminares en la máquina.

8.2.1. Carcasa para sensor

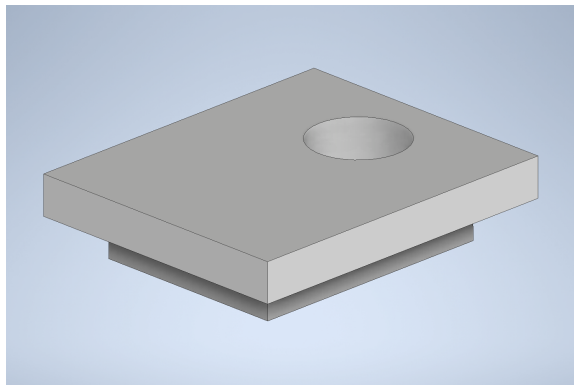
Se cambió el sensor del primer diseño, ya que esta máquina es para fines didácticos y no requiere un sensor industrial. Además, el nuevo sensor es mucho más accesible en términos de costo. Por este cambio se diseñó una nueva carcasa para este sensor, se diseñó una carcasa que lo sostiene adecuadamente. En la parte inferior, la carcasa cuenta con un orificio que permite al sensor realizar las mediciones sin obstrucciones. Por la parte interior, la carcasa deja sobresalir los LED integrados en el sensor, mejorando la claridad y la precisión en la detección del color. Como se puede observar en la Figura 24, la carcasa también incluye una guía que permite utilizar tornillos M4 para anclarla a un perfil de 20x20 mm, fijándola de manera segura a la estructura.

Figura 24: *Carcasa sensor de color*



Para esta carcasa, también se diseñó una tapa que resguarda mejor el sensor, brindando mayor protección. La tapa cuenta con un agujero de 12 mm de diámetro, por donde pueden pasar las conexiones del sensor hacia el Arduino, lo que facilita la organización y distribución de los cables, manteniéndolos ordenados y evitando posibles interferencias.

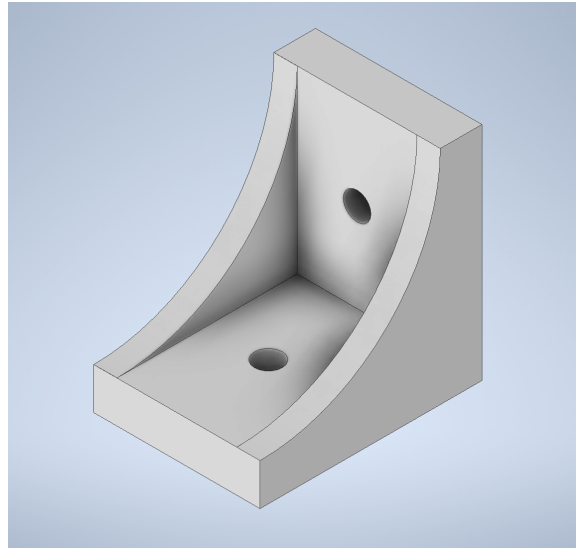
Figura 25: *Tapadera de carcasa del sensor de color*



8.2.2. Uniones para perfiles

Como parte fundamental de la fabricación de esta máquina, era indispensable poder unir y sujetar los perfiles, tanto los estructurales como los del mecanismo de clasificación, otorgando una buena sujeción entre ellos para garantizar la estabilidad de toda la máquina. Se realizó la orden de compra para las uniones, que constaban de uniones en forma de L a 90 grados, tornillos y tuercas para el perfil T-Slot. Mientras estos elementos llegaban, se diseñó esta unión de 90 grados para empezar a ensamblar los perfiles y fabricar la estructura. De estas uniones se realizaron dos prototipos. El primero se fabricó con una altura y un ancho de 40 mm, y dos agujeros de 5 mm de diámetro respectivamente, permitiendo así el uso de tornillos hexagonales Allen M4. En la Figura 26 se puede observar el primer prototipo.

Figura 26: *Primer prototipo unión en L*



Este primer prototipo funcionó correctamente, ya que unía dos perfiles de aluminio de 30x30 mm a 90 grados, pero presentaba un problema: al tener una superficie plana, las piezas se caían fácilmente de los perfiles al no tener ninguna sujeción. Por esta razón, se realizó un segundo prototipo. A pesar de que el primero cumplía su función principal, el segundo prototipo mantuvo las mismas dimensiones, pero se le añadieron carriles guía en las superficies que iban unidas al perfil. Estos carriles encajaban en las ranuras de los perfiles de aluminio, lo que permitió un mejor agarre entre la pieza y el perfil, evitando que las piezas se cayeran con facilidad como puede observarse en la Figura 27 la guía de la unión encaja perfectamente en la guía del perfil. Además, este diseño facilitaba la unión de los perfiles, ya que las piezas no se movían tanto durante el ensamblaje.

Figura 27: *Segundo prototipo unión en L*



Junto con este prototipo, se utilizaron tuercas T-Slot para los perfiles de 30x30 mm. Estas tuercas se insertan de forma interna en los carriles de los perfiles, asegurando una sujeción desde el interior. Adicionalmente, se emplearon tornillos Allen hexagonales M4x16 mm junto con arandelas para evitar daños en las piezas impresas y reducir las vibraciones. Se seleccionó esta longitud de tornillos debido a que, dado el grosor de la pieza y la profundidad del carril de los perfiles, este tamaño resultaba ideal ya que evitaba que el tornillo tocara el perfil, previniendo daños y al mismo tiempo, era lo suficientemente largo para sujetar de manera segura la pieza impresa y la tuerca. En la Figura 28 se pueden observar los elementos mencionados anteriormente, siendo necesarios dos de cada uno de estos elementos por cada unión.

Figura 28: *Prototipo final unión en L*



Gracias a estos elementos se pueden unir dos perfiles a 90 grados como puede observarse en la Figura 29

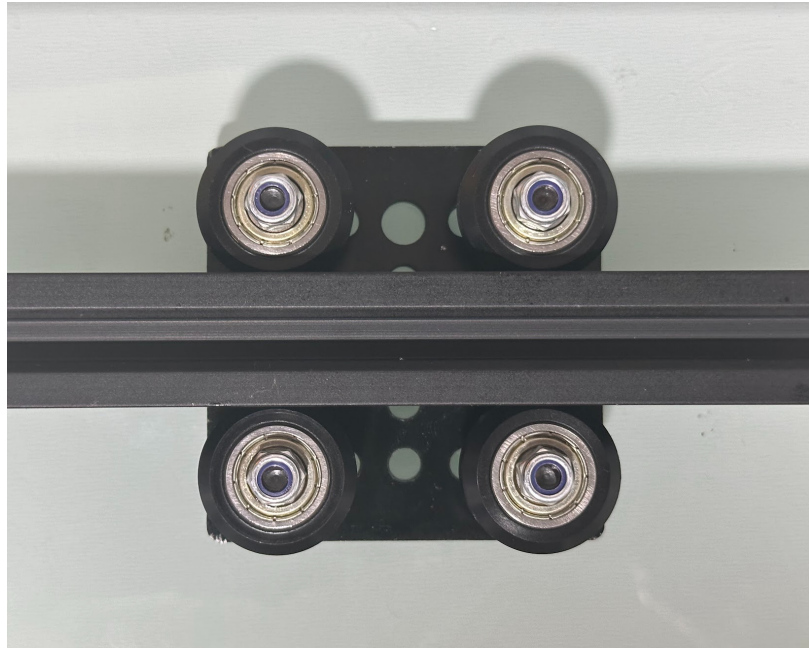
Figura 29: *Prueba de unión de perfiles*



8.2.3. Prototipos para el mecanismo de clasificación

Para realizar el mecanismo de clasificación se imprimieron varias piezas en 3D, ya que el mecanismo consta, además de estas piezas, de varillas de acero, rodamientos, una placa deslizante V-Slot, un motor DC de 24V y tornillos, siendo lo más importante las piezas impresas en 3D. Se fabricaron diferentes piezas para las distintas partes del mecanismo. Aunque el diseño ya existía en un trabajo de graduación anterior, se modificaron algunas piezas debido a un problema con la placa deslizante V-Slot, el cual consta de cuatro ruedas que le permiten moverse libremente sobre el perfil.

Figura 30: *Carrito V-Slot*



Para comenzar, se imprimieron las piezas amarillas que se observan en la Figura 31. Cada una de estas piezas contiene dos rodamientos. El primero es un rodamiento con un diámetro exterior de 12 mm y un diámetro interior de 8 mm. Además, incluyen rodamientos axiales con un diámetro exterior de 10 mm y un diámetro interior de 8 mm. Este diseño no fue modificado, ya que no se presentaron dificultades al colocar los rodamientos.

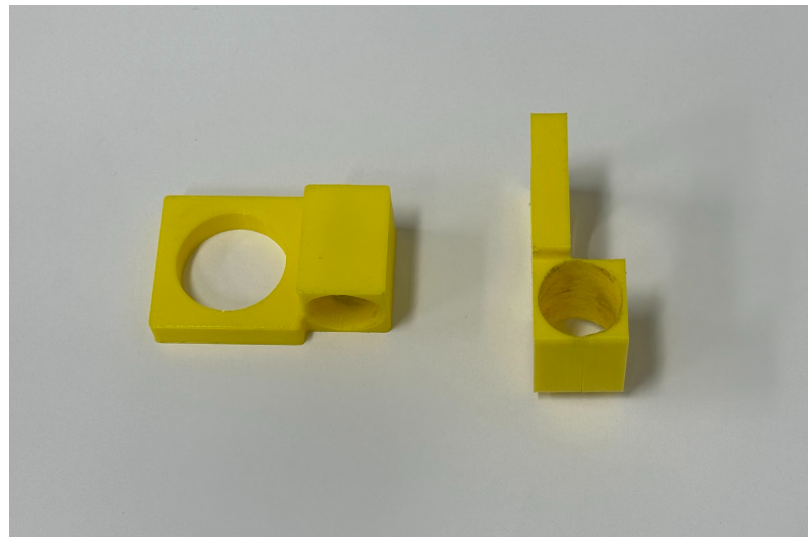
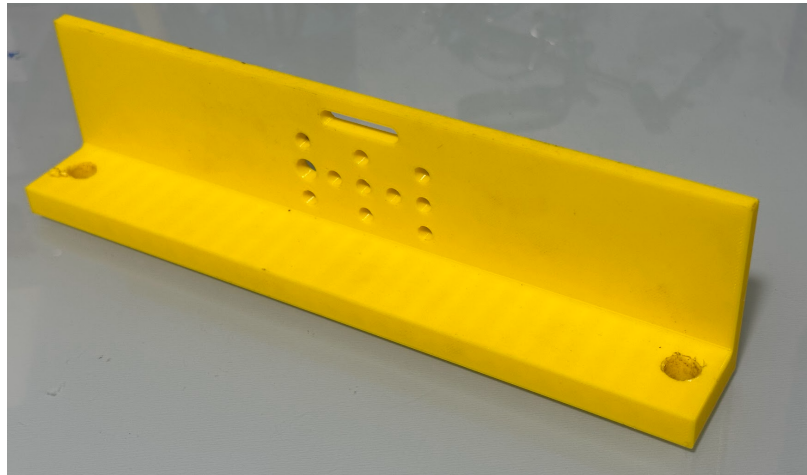


Figura 31: Piezas para Rodamientos

Para las siguientes piezas, sí se realizaron diferentes prototipos. En primer lugar, se puede observar en la Figura 32 la pieza que une la placa deslizante V-Slot con otra pieza impresa en 3D. Además, en esta pieza también se sujetan unas varillas de acero que contribuyen al

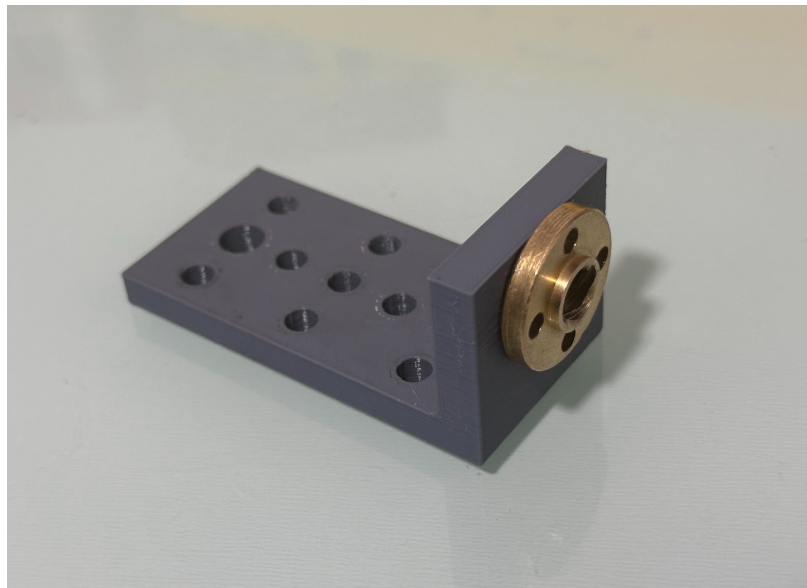
movimiento del mecanismo de clasificación.

Figura 32: *Pieza para carrito V-Slot*



El problema principal fue la orientación de los agujeros de la pieza. En el diseño original, no se tomó en consideración la dirección en la que la placa deslizante V-Slot se desliza libremente, lo que ocasionó un movimiento no deseado al unir todas las piezas. Al tener en cuenta la otra pieza mostrada en la Figura 33, que sostiene el eje sin fin, se esperaba lograr un movimiento en el eje X. Sin embargo, con el primer diseño se obtenía un movimiento en el eje Y, lo cual no era útil para el mecanismo de clasificación.

Figura 33: *Pieza para eje sin fin*



Al momento de unir estas piezas a la placa deslizante, se observó el problema mencionado anteriormente. Sin embargo, la unión entre las piezas fue la esperada. Como se puede ver en la Figura 34, ambas piezas están colocadas sobre la placa deslizante, lo que indica que las

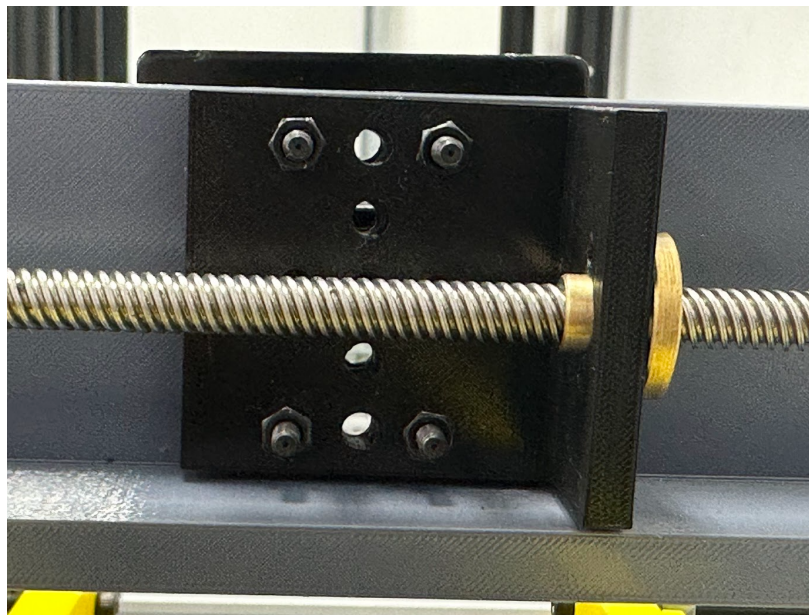
dimensiones y los tamaños de los agujeros eran correctos, pero la orientación de las piezas debía ser diferente para lograr el movimiento deseado.

Figura 34: *Primer prototipo uniones de placa deslizante*



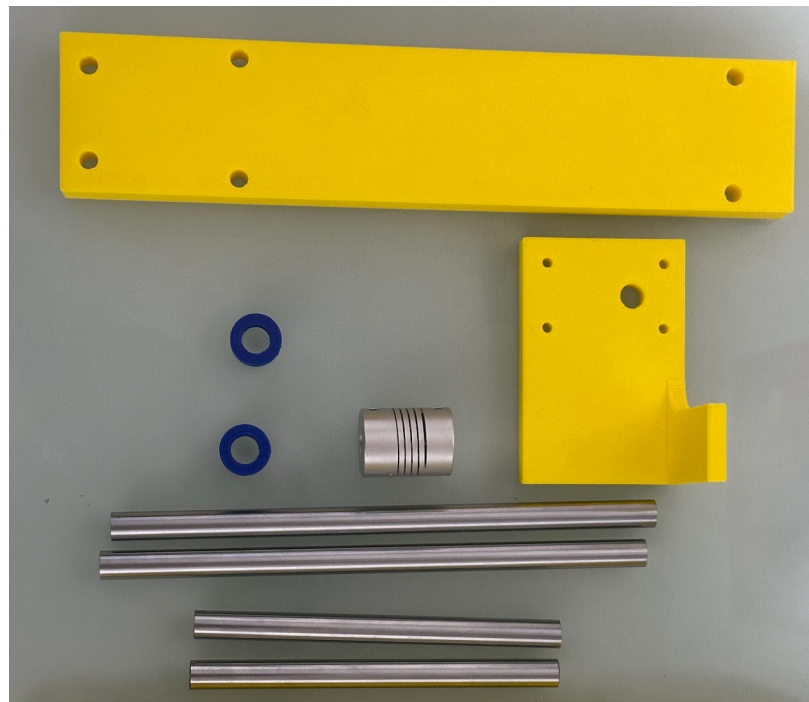
Para el segundo prototipo de estas piezas, se repositionaron los agujeros para asegurar que el movimiento fuera de izquierda a derecha y evitar que los tornillos interfirieran con el recorrido de la placa y el perfil. Por este motivo, se desatornillaron las llantas y se colocaron tornillos debajo de las llantas para prevenir estos problemas. Puede observarse en la Figura 35 las nuevas piezas.

Figura 35: *Segundo prototipo uniones de placa deslizante*



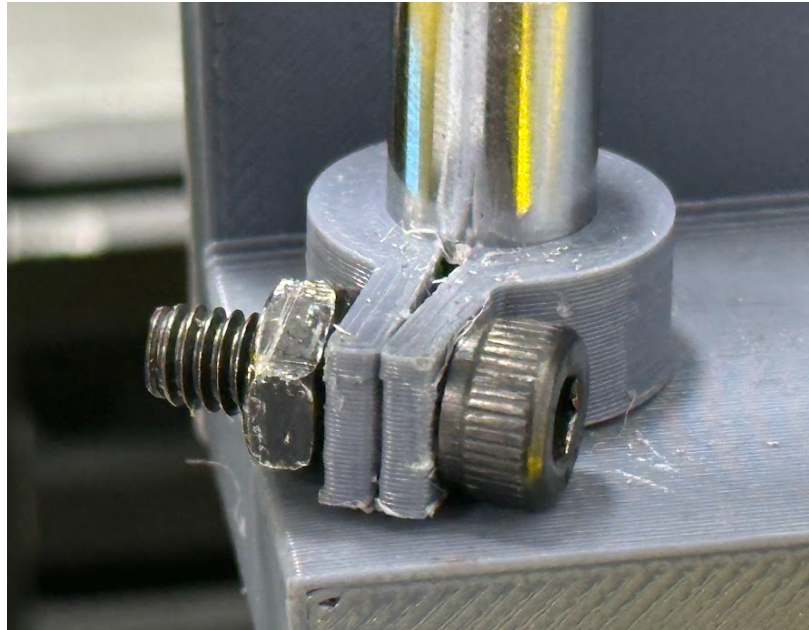
Adicionalmente, se imprimieron unas guías por las que pasarán las botellas, las cuales proporcionan la dirección necesaria para su clasificación. Se requieren dos de estas piezas, y cuentan con agujeros para tornillos M4, además de pequeñas bisagras con una distancia de 10 mm entre los centros de los agujeros. También se fabricó una pieza para el motor DC que lo fija a los perfiles de 20x20 mm, evitando que se mueva mientras gira el tornillo sinfín. Esta pieza tiene agujeros para tornillos M3, permitiendo atornillar el motor, y se sujeta a los perfiles con tornillos M4. Estas piezas impresas pueden observarse en la Figura 36, junto con un acople para el motor y unas varillas de acero que conectan el mecanismo. Asimismo, se observan unos anillos azules con un diámetro interno de 8 mm, cuya función es sostener las varillas para evitar que caigan por la gravedad. Se realizó un segundo prototipo de estos anillos, ya que el primero no encajaba correctamente en las varillas, lo que provocaba que se cayeran. El diseño fue modificado para incluir un tornillo y una tuerca, lo que permite ajustar la pieza y evitar que las varillas se caigan.

Figura 36: *Pieza para motor y guías*



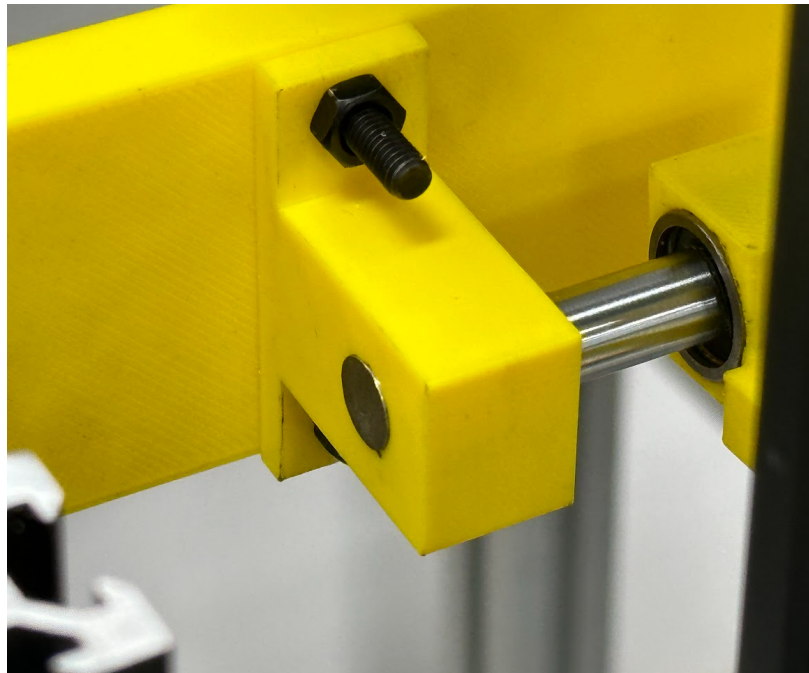
En la Figura 37 se puede observar el nuevo diseño de los anillos. Estos cuentan con un diámetro mayor de 9 mm, pero pueden ajustarse gracias a un tornillo M4 y una tuerca, lo que asegura firmemente las varillas.

Figura 37: *Segundo prototipo de anillo*



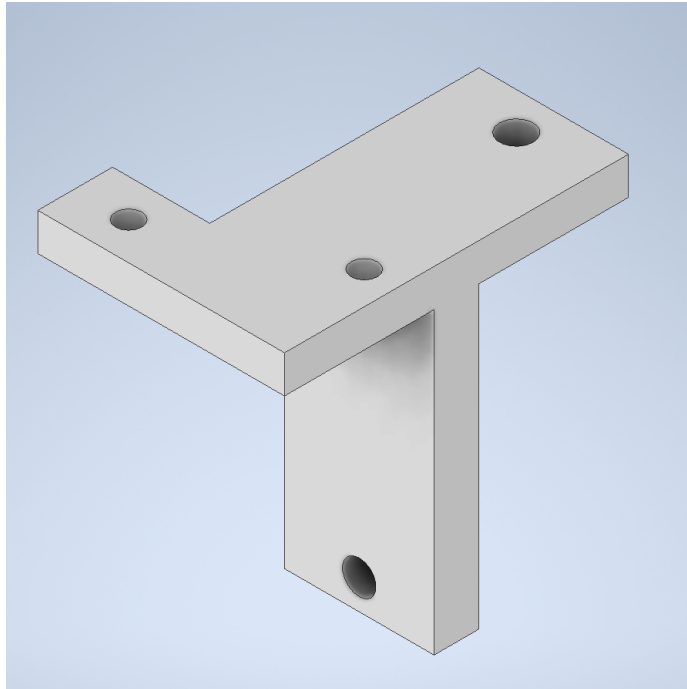
Para el mecanismo de clasificación, se fabricó una pieza que ayuda a detener la varilla y unirla a las guías por donde pasan las botellas. Esta pieza permite la unión de ambos elementos, facilitando su movimiento. Tiene un diámetro interno de 8 mm y cuenta con agujeros para tornillos M4.

Figura 38: *Pieza de sujeción*



También se diseñó una pieza específica para el final de carrera de este mecanismo, la cual se acopla a los perfiles de aluminio sin interferir en su funcionamiento. Esta pieza incluye agujeros de 4 mm para montarla en los perfiles y agujeros de 3 mm para fijar el final de carrera en la pieza.

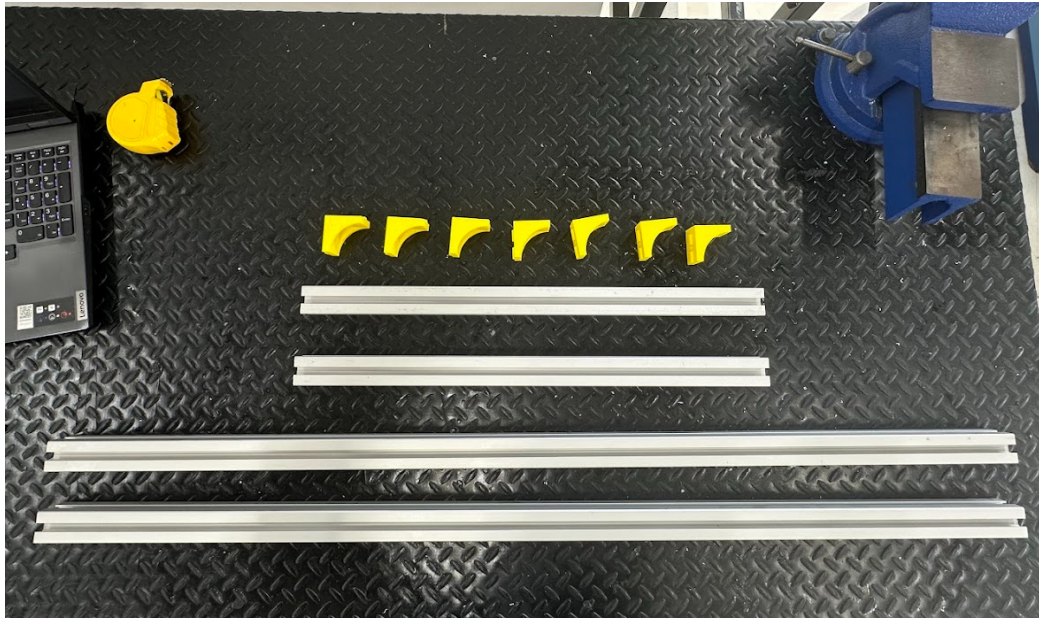
Figura 39: *Soporte final de carrera*



8.3. Ensamblaje de la estructura

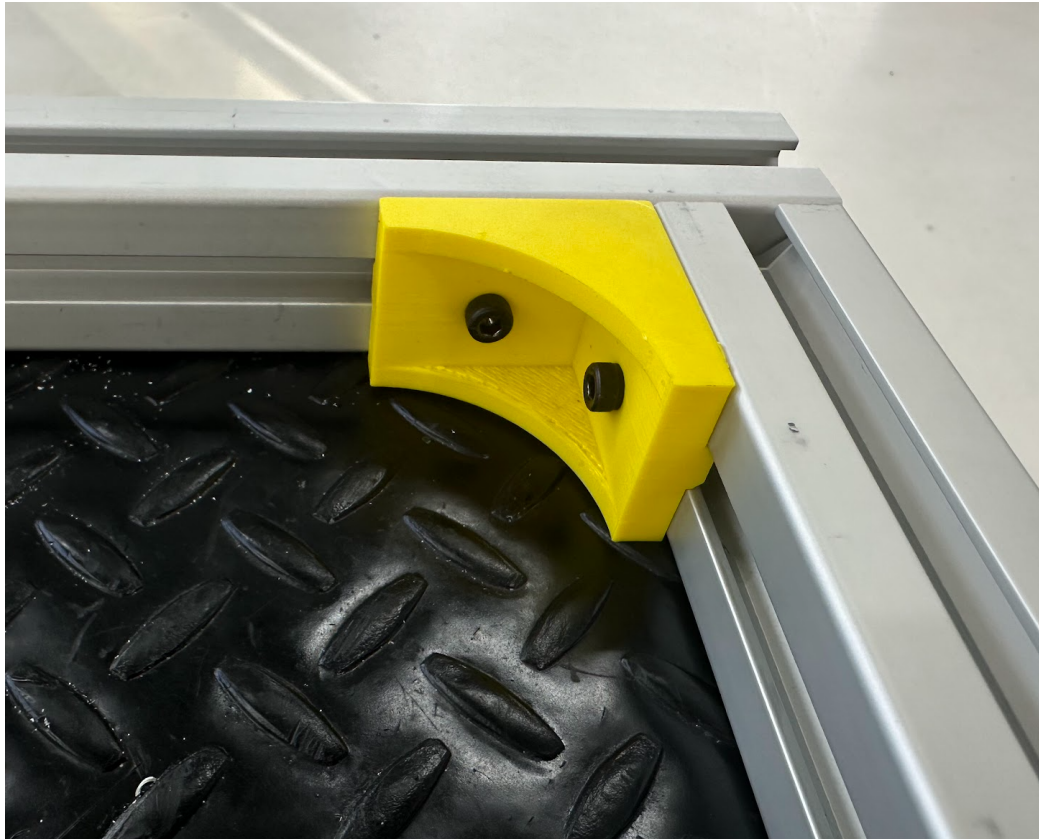
En esta sección se detallará el proceso de ensamblaje de la estructura de la máquina. Como se mencionó anteriormente, los perfiles necesarios para la fabricación ya fueron cortados, por lo que en esta parte se describirá únicamente el proceso de ensamblaje. Para hacerlo posible, se utilizaron los perfiles ya cortados junto con las uniones impresas en 3D, las cuales fueron utilizadas como prototipos. La sección se dividirá en dos subsecciones: una describirá el ensamblaje utilizando los prototipos impresos, y la otra, el ensamblaje con las uniones que se pidieron en el extranjero. Se realizó un primer ensamblaje de la máquina utilizando las piezas impresas, ya que este trabajo de graduación se centra en la fabricación de la máquina, siendo el ensamblaje de la estructura una parte fundamental del proyecto. Mientras se esperaba la llegada de las piezas compradas, se avanzó armando la estructura para realizar pruebas con el mecanismo de clasificación.

Figura 40: *Perfiles para marco de la mesa*



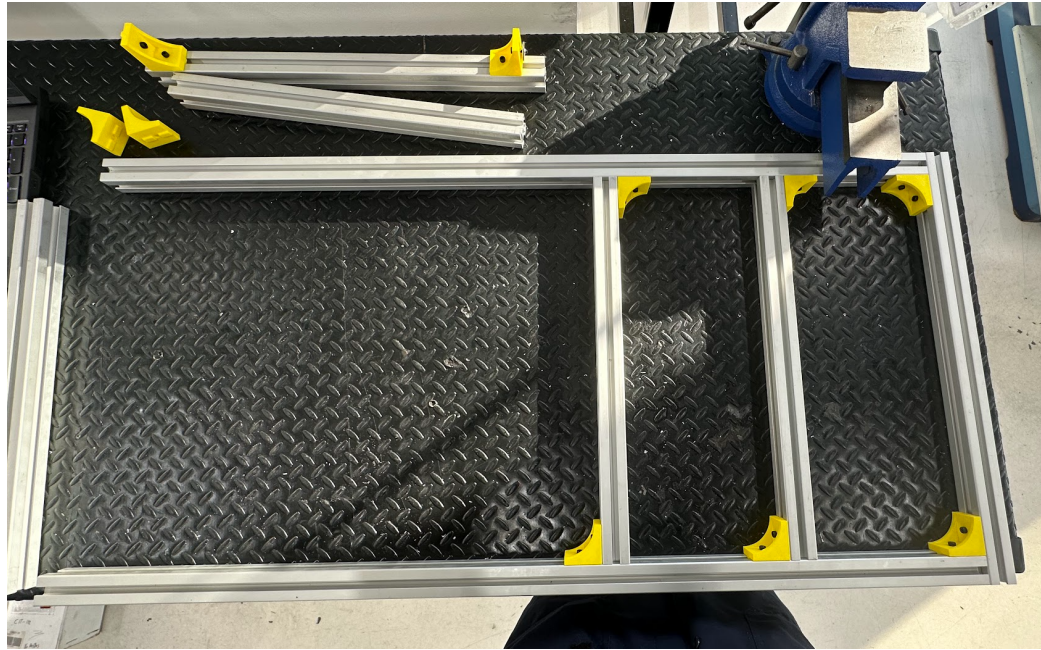
Se decidió empezar por la parte superior de la estructura, lo que facilitaba su almacenamiento una vez ensamblada y permitía unirla al resto de la máquina posteriormente. En esta parte se instalarán la banda transportadora y el mecanismo de clasificación. Se utilizaron dos perfiles de 1,000 mm y dos perfiles de 500 mm para formar el marco de la mesa. Para ello, se emplearon los prototipos de las uniones, las tuercas para los perfiles T-Slot, junto con tornillos M4x16 mm y una llave Allen de 4 mm para apretar los tornillos. En la Figura 41 se observa que se comenzó uniendo el perfil de 500 mm con los dos de 1,000 mm, ya que dentro de este marco se colocarán los perfiles de 440 mm. Este paso inicial facilitó la posterior colocación de los perfiles internos, para luego cerrar el marco con el otro perfil de 500 mm.

Figura 41: *Esquina del marco de la mesa*



Se fueron agregando los perfiles de 440 mm dentro de este marco. Para facilitar el proceso, se colocaron las uniones junto con la tuerca y el tornillo en el perfil a agregar, lo que permitió deslizar este perfil sobre los de 1,000 mm de manera sencilla, quedando encajado dentro del marco, como puede observarse en la Figura 42. Cada uno de los perfiles de 440 mm tiene dos uniones opuestas entre sí. En el diseño original se había contemplado que estos perfiles tuvieran cuatro uniones para asegurar una mejor sujeción y mayor estabilidad estructural. Sin embargo, durante este ensamblaje utilizando los prototipos, no se contaba con la cantidad suficiente de tuercas T-Slot para completar las cuatro uniones por perfil. Aun así, se decidió utilizar dos uniones por perfil, lo cual demostró ser suficiente para soportar el peso y funcionamiento de la banda transportadora y del mecanismo de clasificación, garantizando la estabilidad y rigidez necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 42: *Ensamblaje de perfiles de 440 mm*



Una vez colocados los cuatro perfiles de 440 mm dentro del marco, se procedió a cerrar el mismo para asegurar que ninguno de los perfiles se saliera. En la Figura 43 se puede observar cómo, en el perfil de 500 mm, se colocaron las uniones para luego deslizarlo y encajarlo en los dos perfiles de 1,000 mm. Se siguió el mismo procedimiento de ir colocando los perfiles desde el centro para garantizar que quedaran rectos y fuera más fácil alinearlos. Además, conforme se iban agregando los perfiles, se midieron las dimensiones en cada paso, asegurando que todo encajara correctamente y que el ensamblaje estuviera alineado y estable.

Figura 43: *Cerrando el marco*



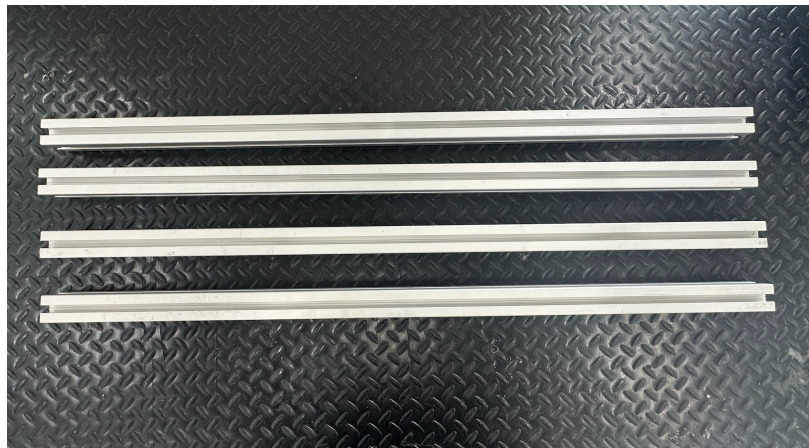
En la Figura 44 se puede observar el proceso de ensamblaje de la mesa.

Figura 44: *Ensamblando perfiles de la mesa*



Como se mencionó anteriormente, se comenzó con la mesa para facilitar su almacenamiento sin ocupar demasiado espacio y evitar que se desarmara, ya que esta parte estaba completamente ensamblada. Al estar ya armada, no había preocupaciones sobre posibles problemas de movilidad. Para continuar, se utilizaron los perfiles de 800 mm, que forman las patas de la estructura, como se muestra en la Figura 45.

Figura 45: *Perfiles para patas de la mesa*



Para empezar a ensamblar parte inferior de la estructura se colocaron las dos patas con ayuda de dos uniones por perfil, asegurando un buen soporte para estas.

Figura 46: *Uniendo patas de la mesa*



Continuando con esta parte se prepararon los soporte de las patas para que al momento de soportar cargas y la estructura no se deformara. Como se observa en la Figura 47 se preparo el soporte de 440 mm donde se colocaron las uniones antes de unirlo a los otros perfiles, esto facilitando el ensamblaje, se colocaron las cuatro uniones, dos para soportar el perfil que se estaba colocando y se pusieron los otros dos soportes para las siguientes soportes a unir, para facilitar el ensamblaje y para que los otros soportes fueran mas fácil de colocar.

Figura 47: *Soporte de 440 mm*



Una de las recomendaciones para el ensamblaje es colocar todas las tuercas T-Slot necesarias antes de montar los perfiles, ya que, si se requieren dos o más tuercas en un mismo carril del perfil, deben colocarse antes de instalar la unión y apretar los tornillos. Esto se debe a que, una vez que la tuerca está fijada en el carril, obstruye el paso, impidiendo añadir más tuercas posteriormente. Por lo tanto, es fundamental colocarlas de antemano y luego ir colocando las uniones junto con los tornillos. En la Figura 48 se muestra cómo se colocó la tuerca T-Slot antes de instalar el perfil de soporte. Este método también facilita el encaje de los perfiles, ya que es necesario alinear un perfil con otros dos ya ensamblados para que se ajuste correctamente. Si las tuercas no se agregan antes, como se mencionó, se tendría que desatornillar las uniones para mover las tuercas y volver a apretarlas, lo que resulta en

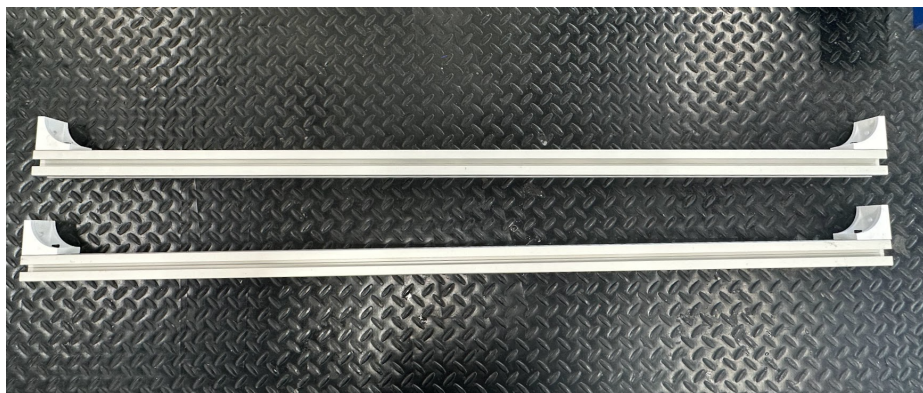
un proceso más largo y tedioso.

Figura 48: *Tuerca T-Slot*



Para finalizar la estructura, se añadieron los soportes de 1,000 mm, siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente. En la Figura 49 se pueden observar los perfiles con las uniones ya colocadas, listos para ser ensamblados con las tuercas T-Slot, previamente instaladas en los perfiles donde se unirán. Este método aseguró una alineación adecuada y un ensamblaje más eficiente de la estructura. En uno de estos lados también se agregó un soporte adicional pero se colocó más arriba, ya que sobre este perfil se colocó un riel DIN el cual sostendrá el PLC.

Figura 49: *Soportes de 1,000 mm*



Finalmente, después de todo el proceso descrito anteriormente, se completó el ensamblaje de la estructura principal de la máquina utilizando los prototipos de las uniones. Esta estructura será la base que soportará la banda transportadora, el sensor de color y el mecanismo de clasificación. Gracias a la cuidadosa preparación y alineación de los perfiles y las uniones, se logró una estructura estable y funcional, lista para integrarse con los demás componentes del sistema.

Figura 50: *Estructura ensamblada*



A continuación, se muestran los perfiles utilizados en cada parte de la estructura:

- 5 perfiles: 1,000 mm

Se utilizaron dos de estos perfiles para la parte superior de la estructura, contribuyendo a la formación de la mesa, y dos para la parte inferior, los cuales cumplen la función de soporte para las patas de la estructura. Considerando los perfiles de las patas, la máquina tiene un largo total de 1,060 mm. El último perfil se utilizó para colocar un riel DIN, cuya función principal es sostener el PLC y una caja de control que contiene el microcontrolador y el puente H para el motor DC, además de las conexiones eléctricas.

Figura 51: *Perfiles de 1,000 mm*



- 4 perfiles: 800 mm

Estos cuatro perfiles se utilizaron para las patas de la estructura. Dado que sobre ellos se colocaron otros perfiles de 30x30 mm, la estructura alcanzó una altura total de 830 mm.

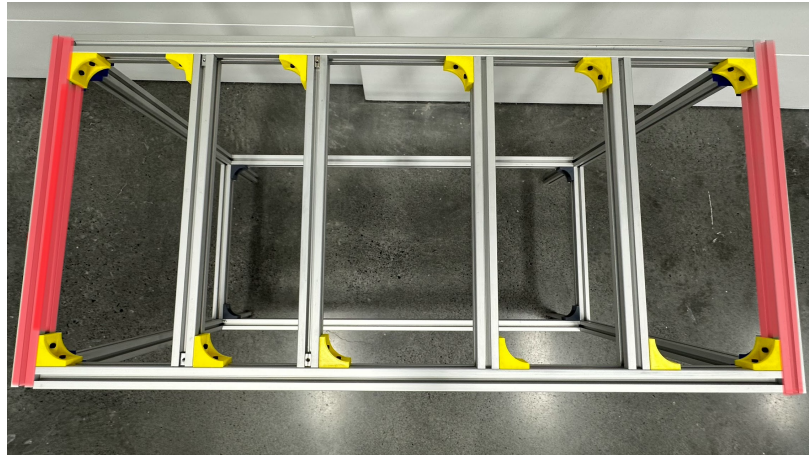
Figura 52: *Perfiles de 800 mm*



- 2 perfiles: 500 mm

Estos se utilizaron únicamente para la parte superior de la estructura, donde, junto con dos perfiles de 1,000 mm, se formó un rectángulo de 1,060 mm de largo y 500 mm de ancho.

Figura 53: *Perfiles de 500 mm*



- 6 perfiles: 440 mm

Se cortaron más de estos perfiles, ya que dos se utilizaron como soporte para la parte inferior de las patas de la máquina y cuatro se colocaron en la parte superior, dentro del rectángulo. Esto permitió que sobre estos perfiles se pudiera montar principalmente la banda transportadora y el mecanismo de clasificación.

Figura 54: *Perfiles de 440 mm*



para este tipo de piezas y la colocación de los rodamientos, se deje un espacio adicional de 0.5 mm al diámetro de las piezas en el diseño. Este espacio adicional facilita la inserción de los rodamientos y las varillas de 8 mm de diámetro con una longitud de 150 mm, sin forzar las piezas, reduciendo el riesgo de daños durante el ensamblaje. Además, las zonas donde se colocan los rodamientos y las varillas fueron lijadas con lijas P320, que son ideales para eliminar el excedente de los soportes de las impresiones en 3D sin dañar las piezas impresas. Este proceso de lijado permitió suavizar la superficie y asegurar una colocación más precisa y segura de los rodamientos, contribuyendo al buen desempeño del mecanismo.

Figura 56: *Rodamientos ensamblados*



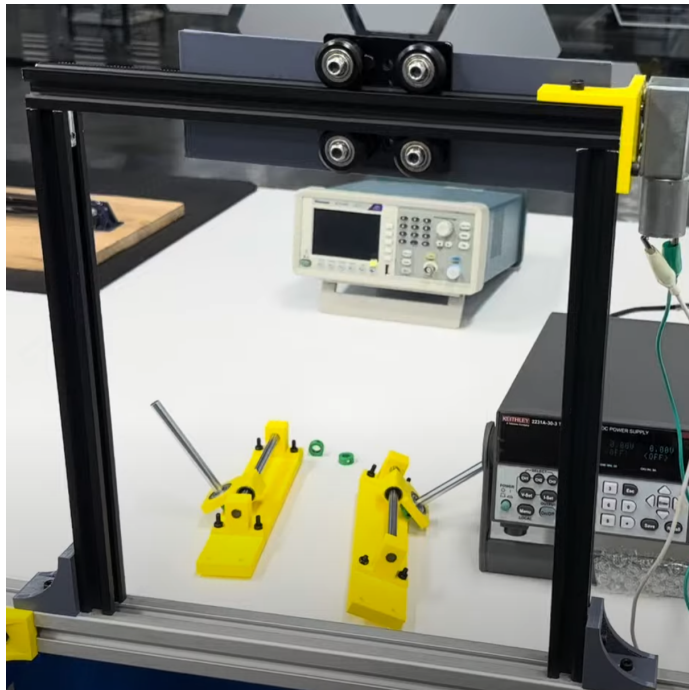
Se unieron las piezas impresas para la placa deslizante. Como se mencionó en la sección de Impresiones 3D, se realizaron dos prototipos de estas piezas, modificando la orientación de los agujeros para que la placa se deslizara correctamente sobre el eje X y encajara adecuadamente con las uniones y el eje sinfin.

Figura 57: *Ensamblaje de placa deslizante*



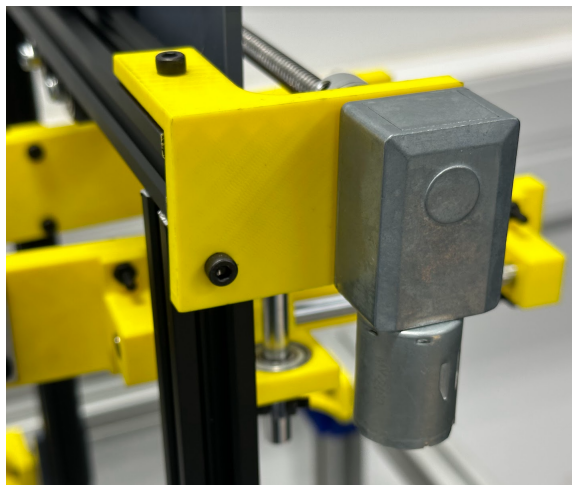
Se construyó un marco utilizando perfiles de 20x20 mm, con una longitud de 300 mm cada uno. Los tres perfiles se unieron con la ayuda de uniones internas, ya que estas no obstruyen el paso de la placa deslizante sobre el perfil superior. La estructura resultante tiene una altura de 320 mm y un largo de 300 mm, como se puede observar en la Figura 58. Antes de cerrar este marco de perfiles, se colocó la placa deslizante en el perfil superior unido junto con las piezas impresas, posteriormente se unió el perfil faltante.

Figura 58: *Marco de mecanismo de clasificación*



Se procedió a instalar el motor junto con su soporte. Para fijar el motor al soporte, se utilizaron tornillos M3, asegurando que el motor quedara firmemente sujeto sin riesgo de movimiento. A continuación, se unió el soporte del motor al marco de los perfiles utilizando tuercas V-Slot para los perfiles de 20x20 mm, junto con tornillos Allen M4 x 12 mm. Este método de montaje permite ajustar fácilmente la posición del motor en el marco, garantizando su alineación correcta con el eje sin fin. La colocación precisa del motor es crucial para el funcionamiento eficiente del mecanismo de clasificación, ya que asegura un movimiento suave y sin obstrucciones a lo largo del eje X.

Figura 59: *Motor acoplado al marco*



Luego se procedió a instalar el eje sinfín. En una de las piezas previamente agregadas a la placa deslizante, se insertó una tuerca específica para el eje sinfín, lo que permite que la placa se desplace al empujar o jalar el eje, facilitando así su movimiento a lo largo del perfil. Una vez enroscado el eje sinfín, se colocó un acople para el motor, ya que el eje del motor tiene un diámetro de 6 mm, mientras que el eje sinfín tiene un diámetro de 8 mm. Para asegurar una conexión firme, se apretaron los tornillos del acople, uniendo de esta manera el motor con el eje sinfín y, a su vez, este con la tuerca ya colocada en las piezas impresas acopladas a la placa deslizante. Esta configuración garantiza un movimiento controlado y suave de la placa deslizante sobre el perfil, asegurando el correcto funcionamiento del mecanismo de clasificación.

Figura 60: *Eje sin fin acoplado*



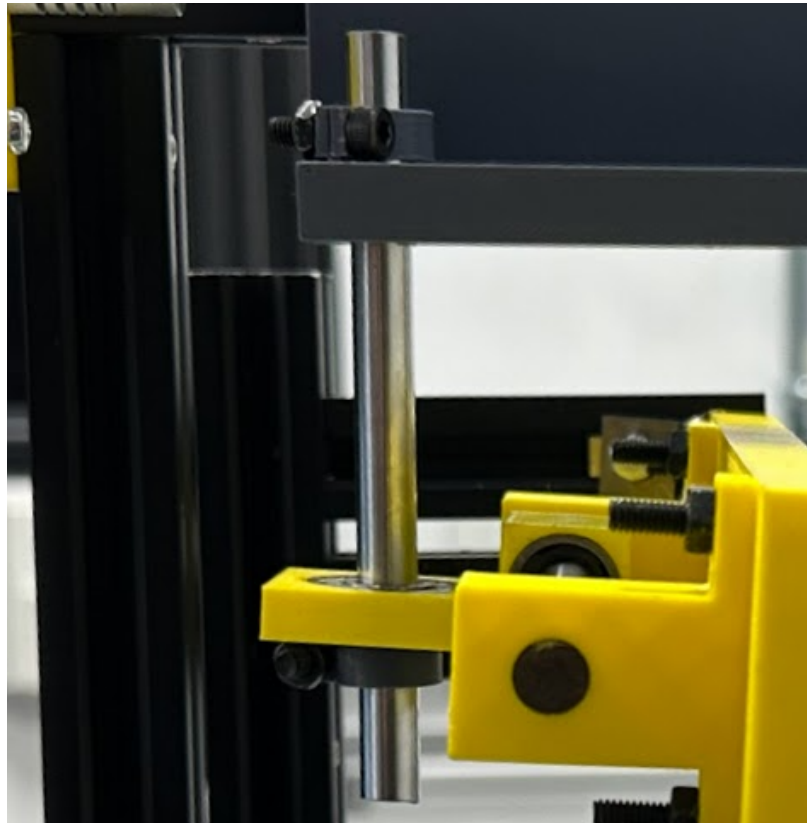
Se colocaron los soportes de las varillas de 150 mm para unir las piezas de los rodamientos a las guías por donde pasará la botella. Para fijar estos soportes, se utilizaron tornillos M4 x 12 mm, que se insertaron a través de los agujeros de las piezas y se aseguraron del otro lado con tuercas. Esta configuración garantiza que las varillas queden firmemente sujetas, permitiendo un movimiento suave y controlado de las botellas a lo largo de las guías. Además, la sujeción con tornillos y tuercas asegura que las piezas se mantengan en su lugar durante el funcionamiento de la máquina, evitando deslizamientos no deseados.

Figura 61: *Guías unidas con soportes*



Por último, se colocaron las varillas de 100 mm en los rodamientos y en la pieza grande que está acoplada a la placa deslizante. Para asegurar que las guías no se cayeran, se colocaron los anillos de sujeción, ajustando las varillas con la ayuda de tornillos M4 y tuercas. Este método de sujeción garantiza que las varillas queden firmemente fijadas, proporcionando estabilidad al sistema y permitiendo un funcionamiento fluido del mecanismo de clasificación.

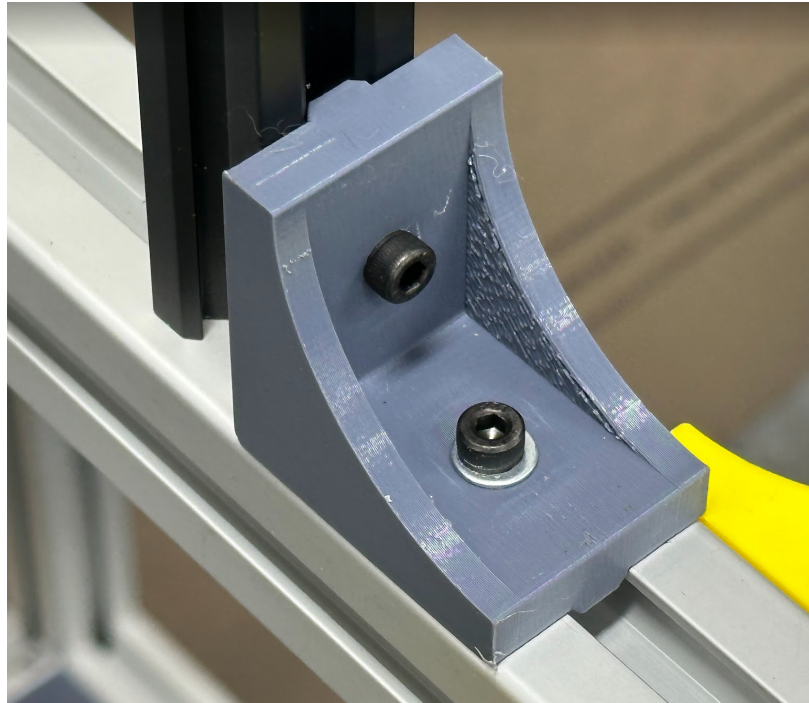
Figura 62: *Varilla de 100 mm acoplada*



Se colocaron bisagras con una distancia de 10 mm entre sus centros en las guías impresas en 3D, permitiendo que el mecanismo pueda moverse con este punto de apoyo como referencia. Estas bisagras facilitan el movimiento controlado de las guías, asegurando una operación eficiente del sistema de clasificación.

Luego, se ancló este marco, con todos sus elementos, a la estructura principal. Para unirlo, se utilizaron las uniones impresas en 3D junto con las mismas tuercas y tornillos empleados previamente para ensamblar el mecanismo. Como puede observarse en la Figura 63, este proceso aseguró que el marco quedara firmemente sujeto a la estructura, permitiendo así un funcionamiento estable y eficiente del mecanismo de clasificación.

Figura 63: *Mecanismo de clasificación acoplado a estructura*



Para que las bisagras tuvieran un punto de referencia y permitieran que el mecanismo girara sobre este eje, se agregaron perfiles de 20x20 mm con una altura de 270 mm. Además, se incorporaron cuatro perfiles pequeños de 70 mm para anclar las bisagras. Con la ayuda de las uniones internas y las tuercas V-Slot, junto con tornillos M4, se logró una fijación firme, permitiendo un movimiento estable y controlado del mecanismo. Como se puede ver en la Figura 64, este nuevo marco de sujeción se ensambló a la estructura con la ayuda de las uniones externas.

Figura 64: *Marco de sujeción ensamblado*



Las bisagras se atornillaron a este marco de sujeción con tornillos M4x6 mm y tuercas T-Slot, como se puede observar en la Figura 65. Esta configuración permite una fijación segura y estable, facilitando el movimiento adecuado del mecanismo.

Figura 65: *Visagras ensambladas*



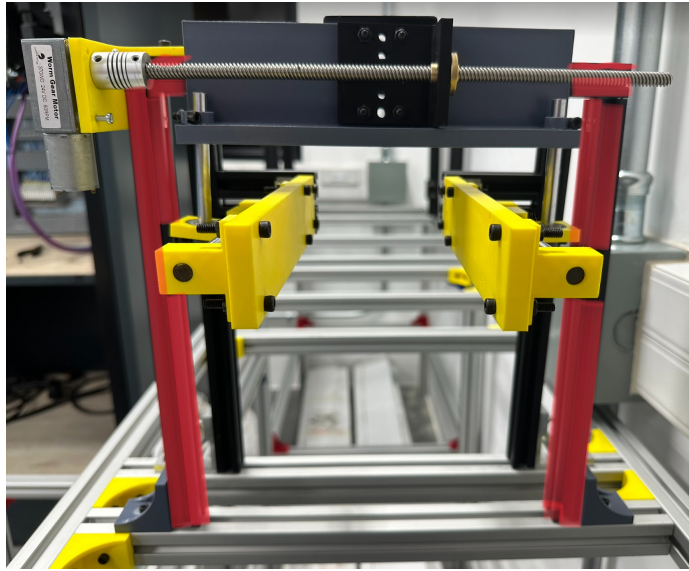
Una de las grandes ventajas de este mecanismo de clasificación, gracias a la utilización de perfiles de aluminio, es su capacidad para modular y ajustar la altura. Esto permite adaptarlo fácilmente, en este caso, a la banda transportadora, logrando una configuración óptima según las condiciones específicas de los elementos a utilizar. Esta flexibilidad facilita ajustes precisos para mejorar la eficiencia y el rendimiento del proceso de clasificación.

A continuación, el total de perfiles utilizados para el mecanismo de clasificación:

- 3 perfiles: 300 mm

Estos perfiles se utilizaron para sostener el mecanismo de clasificación la cual se encuentra el motor DC, eje sin fin, varillas de acero y las piezas impresas en 3D.

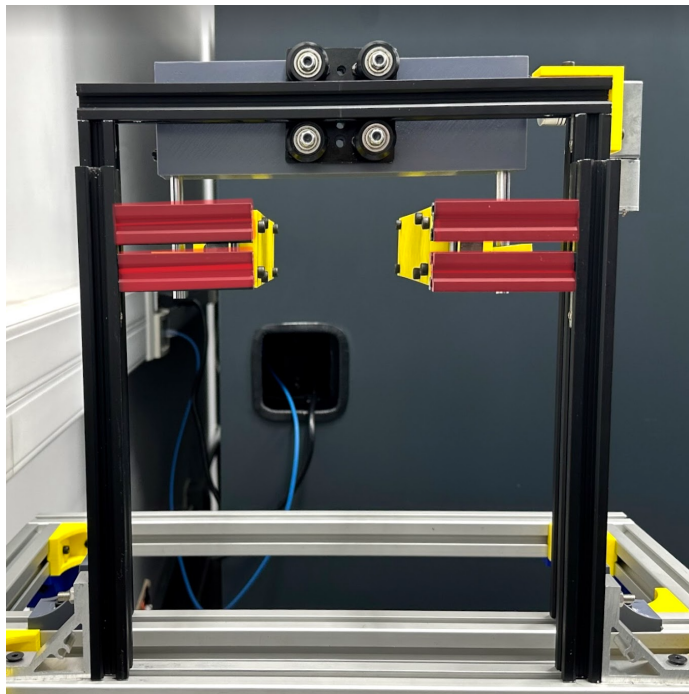
Figura 66: *Perfiles de 300 mm*



- 4 perfiles: 70 mm

La función de estos perfiles negros es servir como apoyo para las bisagras del mecanismo de clasificación, permitiendo que puedan girar de manera controlada sobre ellos. Estos perfiles proporcionan un soporte rígido y estable, garantizando la precisión y estabilidad durante la operación del sistema.

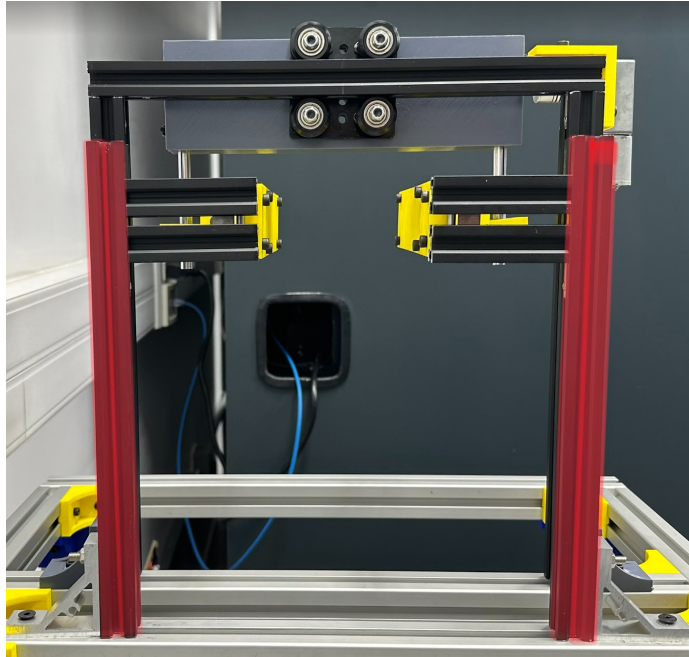
Figura 67: *Perfiles de 70 mm*



- 2 perfiles: 270 mm

Estos perfiles se utilizaron como soporte adicional para sostener los perfiles más pequeños del conjunto, asegurando una estructura firme y alineada.

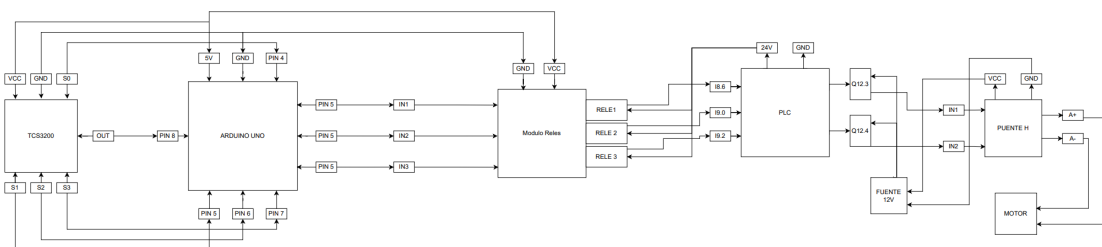
Figura 68: *Perfiles de 270 mm*



9.1. Esquemáticos generales de conexiones

Para hacer posible el funcionamiento de este proyecto, es necesario realizar conexiones eléctricas para los componentes principales, como el sensor de color TCS3200, Arduino Uno, el PLC y el motor. A continuación, se muestra en la Figura 69 el esquema general de las conexiones eléctricas de la máquina.

Figura 69: *Esquemático general de conexiones*



9.2. Arduino

Se utilizó el Arduino Uno, ya que es bastante común y accesible, además de ser ampliamente utilizado en los cursos de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. Para las funciones requeridas en este proyecto, el Arduino Uno es más que suficiente, por lo que no se necesita un microcontrolador más potente. Cabe resaltar que

el Arduino funciona con 5V, por lo que se debe tener cuidado con las conexiones para no superar el voltaje soportado y evitar posibles daños al dispositivo.

9.2.1. Sensor a Arduino

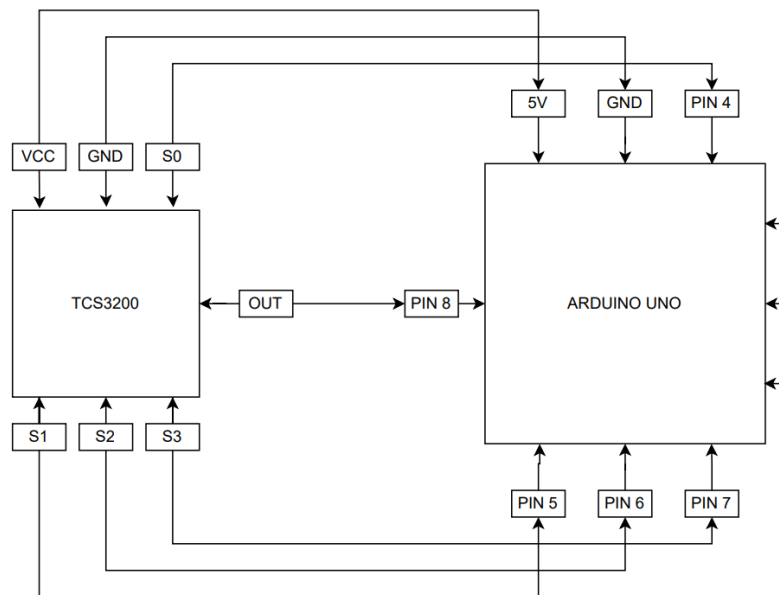
Se estará utilizando el sensor de color TCS3200, que facilita las conexiones con nuestro microcontrolador. En la Figura 70 se muestra el esquema de conexiones entre el sensor y el Arduino. La función del microcontrolador es actuar como un puente entre el sensor y el PLC, recibiendo los datos del sensor y enviándolos al PLC. Para la alimentación del sensor, se utilizan los 5V que suministra el Arduino, junto con su respectiva referencia de tierra.

Las conexiones S0 y S1 del sensor se utilizan para seleccionar la frecuencia de salida del sensor. En este caso, se seleccionó un 20 % de frecuencia para facilitar la lectura de datos por parte del microcontrolador, lo que permite obtener mediciones más estables. Estas conexiones se realizaron a los pines 4 y 5 del Arduino Uno, respectivamente.

Los pines S2 y S3 se utilizan para seleccionar los filtros de color Rojo, Verde y Azul (RGB). Dependiendo de la configuración de estos pines, el sensor filtra la luz, permitiendo la medición precisa de los colores. En este proyecto, estos pines se conectaron a los pines 6 y 7 del Arduino Uno.

Por último, el sensor tiene una salida de frecuencia que varía en función de la intensidad del color detectado. Esta señal se utiliza para la lectura de datos, transmitiéndolos al Arduino a través del pin 8. Esta configuración permite al microcontrolador interpretar correctamente los datos de color para su posterior procesamiento.

Figura 70: Esquemático sensor a Arduino

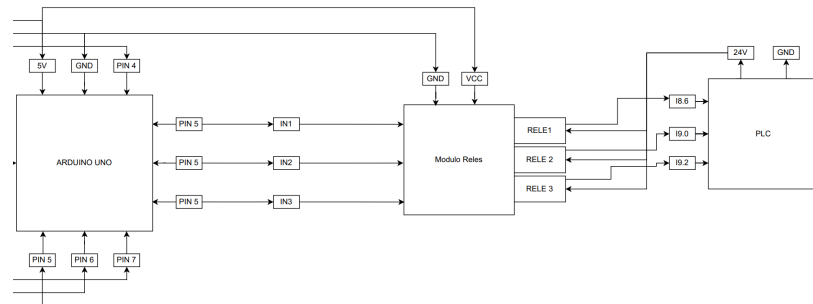


9.2.2. Arduino a PLC

Como el Arduino solo servirá de puente para la lectura de datos del sensor, se utilizarán salidas del Arduino para enviar tres señales a los relés del PLC. Esta configuración evita problemas relacionados con las diferencias de voltaje entre el Arduino Uno y el PLC. Al enviar estas señales, la programación del PLC puede detectarlas fácilmente y procesarlas dentro de su código. El Arduino Uno funcionará únicamente como un intermediario para enviar señales, indicando el color detectado por el sensor según el pin que envíe la señal. El esquema de conexiones se muestra en la Figura 71.

Los pines seleccionados para enviar las señales son los pines 9, 10 y 11 del Arduino. Para hacer posibles estas conexiones, se utilizarán relés que activan su bobina con 5V, ya que este es el voltaje que el Arduino Uno envía en sus salidas. Se empleará un módulo de cuatro canales, en el cual se conecta la alimentación de 5V y el GND común para todos, utilizando la fuente de voltaje proporcionada por el Arduino Uno. Cada canal del módulo se conecta a una salida digital del microcontrolador, mientras que del otro lado del relé se conecta el común del PLC, que en este caso es de 24V. En el terminal normalmente abierto se conecta la entrada que va al PLC. En la figura se muestra un diagrama de las conexiones de estos relés, utilizando las entradas IN1, IN2 e IN3. El relé conectado al PLC recibirá estas señales como señales digitales, facilitando la comunicación entre ambos dispositivos. El PLC interpretará la señal como HIGH o LOW, determinando si un color ha sido detectado o no.

Figura 71: *Esquemático Arduino a PLC*



9.3. PLC

El PLC tendrá la programación principal de la máquina. Una vez que reciba los datos del sensor a través del Arduino, mediante señales digitales, el PLC controlará la dirección del motor DC de 24V con la ayuda de un puente H. Esto permitirá determinar el sentido en el cual el motor debe girar, según el color detectado por el sensor.

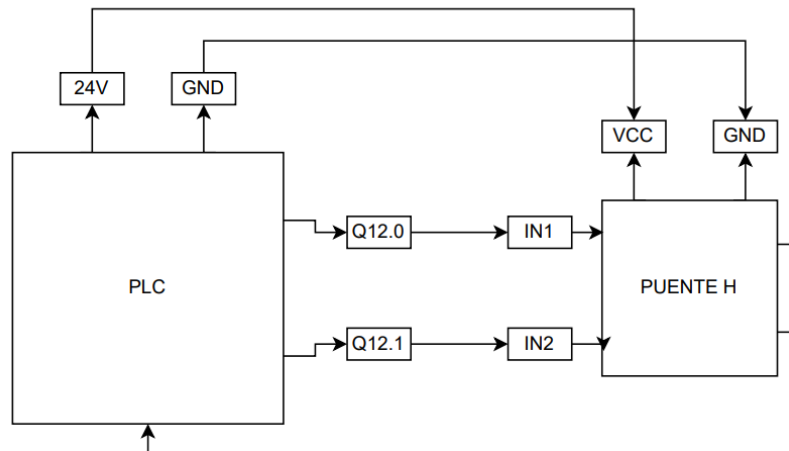
9.3.1. PLC a puente H

Se utilizará un módulo de puente H diseñado para controlar dos motores; sin embargo, en este caso, solo se utilizará uno. Este módulo será alimentado con la salida de 24V pro-

porcionada por el PLC, lo que ofrecerá el voltaje necesario para el motor DC. Para indicar la dirección en la que debe girar el motor, se emplearán dos salidas del PLC, Q12.0 y Q12.1, respectivamente. Estas salidas estarán conectadas a las entradas IN1 e IN2 del módulo de puente H, las cuales determinan el sentido de rotación del motor DC. El esquema de las conexiones puede observarse en la Figura 72.

Para realizar esta conexión, se utilizarán relés como salidas del PLC. Las bobinas de los relés estarán conectadas a las salidas digitales del PLC y a su GND. En el lado de los contactos del relé, se conectarán los 24V de una fuente externa, y en el terminal normalmente abierto, se conectará una de las entradas del puente H para controlar el motor.

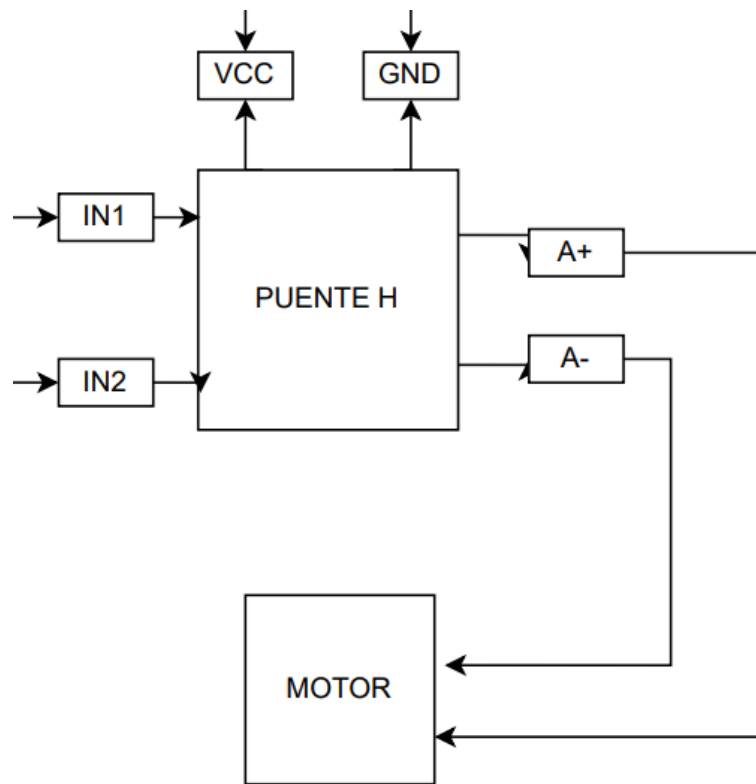
Figura 72: Esquemático PLC a módulo de puente H



9.3.2. Puente H a motor

Una vez que el PLC recibe las señales digitales del Arduino a través de los relés, estas señales se utilizan para controlar el módulo puente H. Las salidas digitales del PLC se conectan directamente al módulo puente H, permitiendo seleccionar la dirección de giro del motor. Dependiendo de la señal activada, el puente H dirige la corriente hacia los terminales A+ o A-, controlando así la dirección de giro del motor DC. Esta configuración permite que el motor gire en un sentido o en el otro. La configuración detallada de estas conexiones se muestra en el esquemático de la Figura 73.

Figura 73: Esquemático módulo de puente H a motor



10.1. Programación general

10.1.1. Programación Arduino

Para la programación del Arduino, únicamente configuramos las entradas y salidas del sensor de color. En este caso, se utilizaron los pines S1 y S0 para la selección de la frecuencia de salida. Los pines S2 a S5 se configuraron para la lectura de señales, mientras que el pin OUT proporciona la señal de salida al microcontrolador.

La detección del color se configura y ajusta mediante la programación. Primero, se debe obtener la lectura de los valores RGB del sensor a través del monitor serial para observar la cantidad recibida de cada uno de estos colores. Una vez identificado un rango adecuado para el color a detectar, estos datos se agregan al programa. Si los valores medidos de los colores rojo, verde o azul están dentro de un rango específico, se parametrizan como la cantidad de RGB correspondiente a un color en particular. Con estos rangos definidos, se identifica un color específico, y el Arduino envía la señal a través de los pines digitales conectados a los relés del PLC. En la Figura 74 se muestra el diagrama de flujo de la programación del Arduino Uno.

Figura 74: Diagrama de flujo programación Arduino



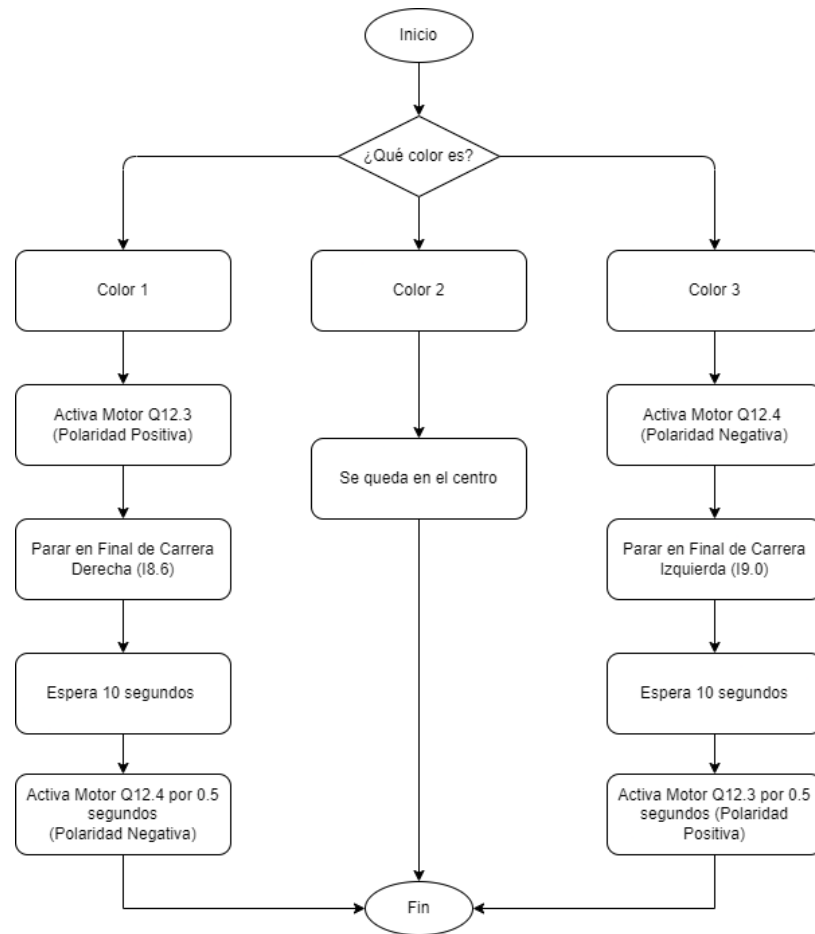
10.1.2. Programación PLC

En el PLC se reciben las entradas a través del relé; en este caso, son tres las entradas que se monitorean. Cada entrada representa uno de los tres colores detectados por el sensor. Dentro del código del PLC, se programa que, si se detecta una de estas entradas, se active la señal de salida Q12.0 o Q12.1, dependiendo del color, para determinar la dirección de giro del motor controlado por el puente H.

Para detener el motor, se han instalado finales de carrera en ambos extremos. El motor dejará de girar cuando uno de los finales de carrera envíe la señal al PLC, indicando que se ha alcanzado la posición deseada.

Este proceso se repite para 2 entradas del relé, cada una con una señal de salida diferente del PLC y un final de carrera distinto, dependiendo de la ubicación donde se desea clasificar la botella. En la Figura 75 se muestra el diagrama de flujo de la programación del PLC.

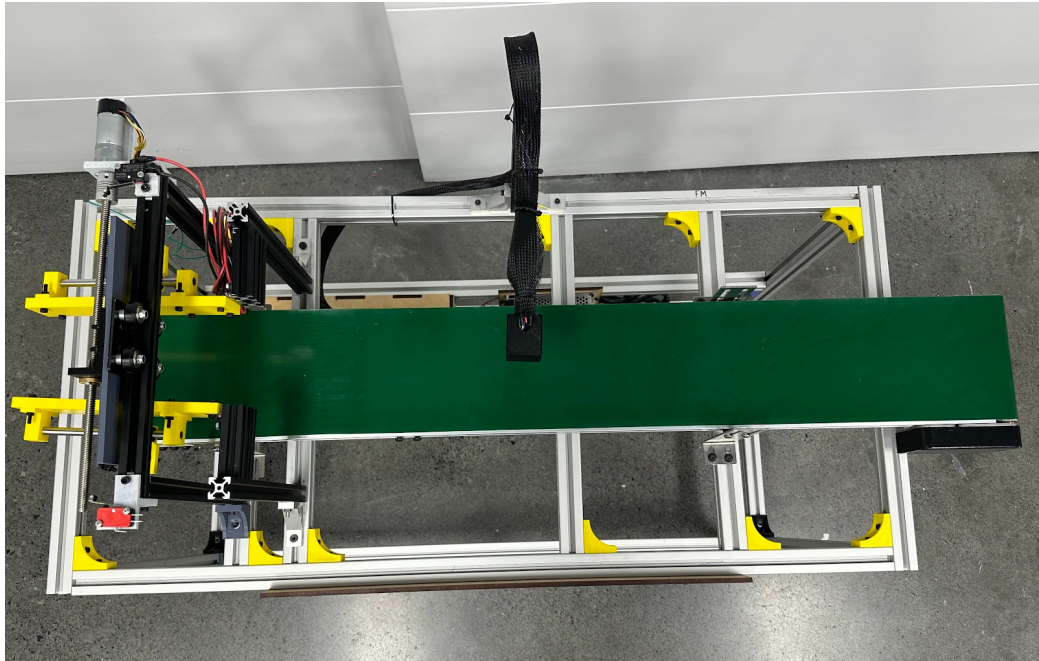
Figura 75: Diagrama de flujo programación PLC



10.2. Puesta en marcha

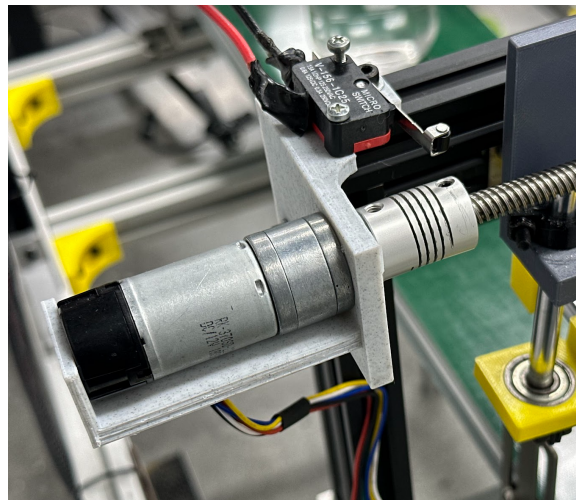
Para finalizar, se realizaron algunos ajustes y se incorporaron los últimos elementos necesarios para el funcionamiento general de la máquina. En primer lugar, se montó la banda transportadora sobre la estructura, ajustando su tamaño al mecanismo de clasificación para garantizar que las botellas pudieran desplazarse sin interferencias. Esta banda transportadora tiene una longitud de 990 mm y un ancho de 152 mm. Además de que puede regularse el voltaje de entrada para la velocidad de la misma. [16] .

Figura 76: *Montaje de banda transportadora*



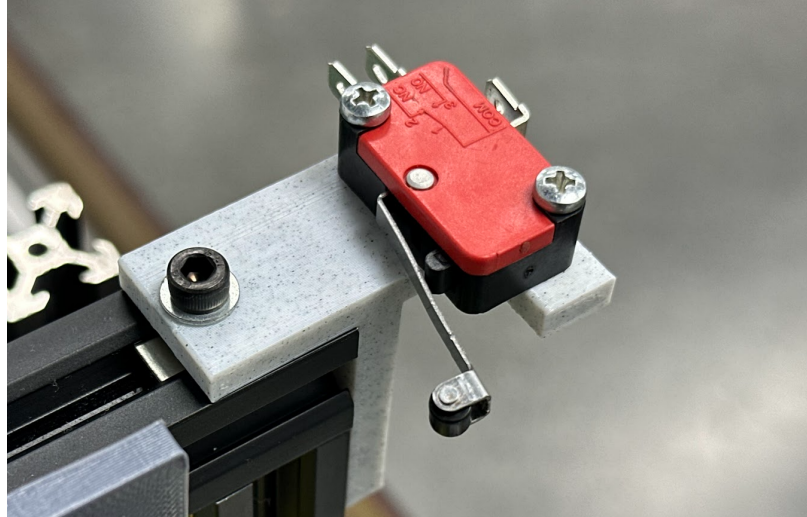
Se realizaron pruebas preliminares con el motor DC, y aunque cumplía su función de mover el mecanismo de clasificación, se decidió reemplazarlo debido a su baja velocidad, ya que el primer motor tenía una velocidad de 90 RPM. Por este motivo, se optó por el motor Pololu Metal Gearmotor 25Dx65L [14], el cual tiene una velocidad de 380 RPM, incrementando considerablemente la velocidad del sistema de clasificación. Para este cambio, se rediseñó el soporte del motor para adaptarlo al nuevo modelo. Además, se añadieron agujeros al soporte para montar el final de carrera en la misma pieza. La nueva pieza junto con el motor puede observarse en la Figura 77.

Figura 77: *Montaje nuevo motor*



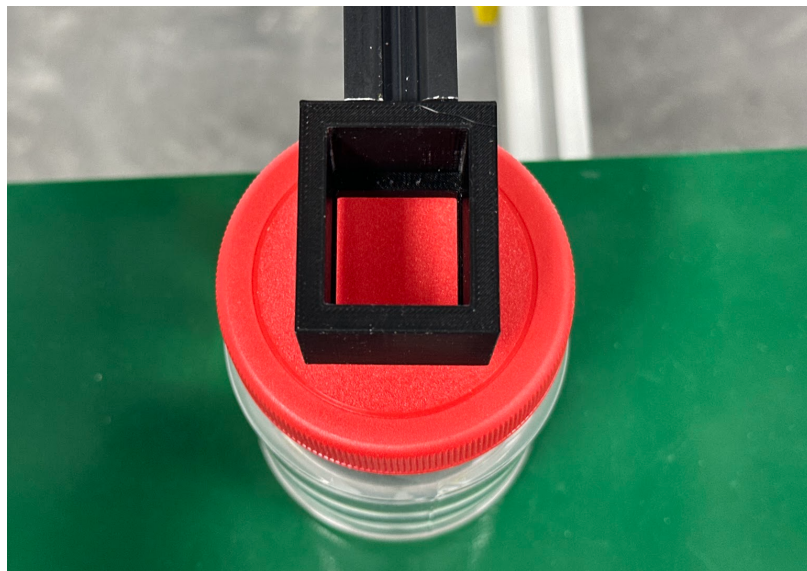
Se diseñó una pieza para instalar el final de carrera en el lado opuesto, la cual se ancló a los perfiles de 20x20 mm. Esta pieza fue diseñada de manera que no interfiriera con el recorrido del mecanismo de clasificación, garantizando su correcto funcionamiento.

Figura 78: *Soporte final de carrera*



Para montar el sensor, se utilizaron perfiles de aluminio de 20x20 mm y uniones para fijarlos a la estructura de la máquina. Con las piezas impresas en 3D, se colocó el sensor de manera que quedara centrado sobre la banda transportadora, facilitando así la detección del color de las tapaderas como puede observarse en la Figura 79 el sensor tiene espacio para detectar el color de la tapadera que pasa debajo de él.

Figura 79: *Espacio del sensor*



Además, gracias a estas uniones, es posible modular la distancia del sensor respecto a

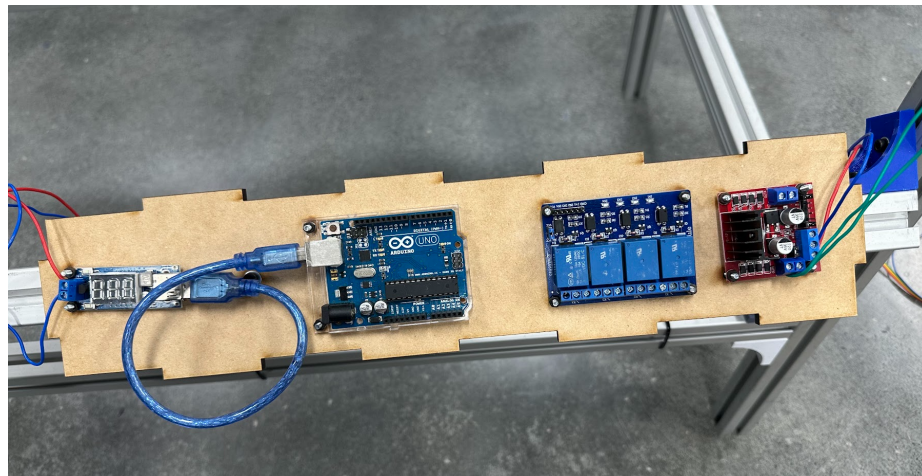
la banda transportadora, permitiendo adaptarlo en caso de utilizar botellas de diferentes tamaños, evitando que esto represente un inconveniente. Puede observarse en la Figura 80. Además, se instaló una malla para organizar los cables que conectan el sensor con el Arduino Uno, garantizando un manejo más ordenado y seguro del cableado.

Figura 80: *Soporte sensor*



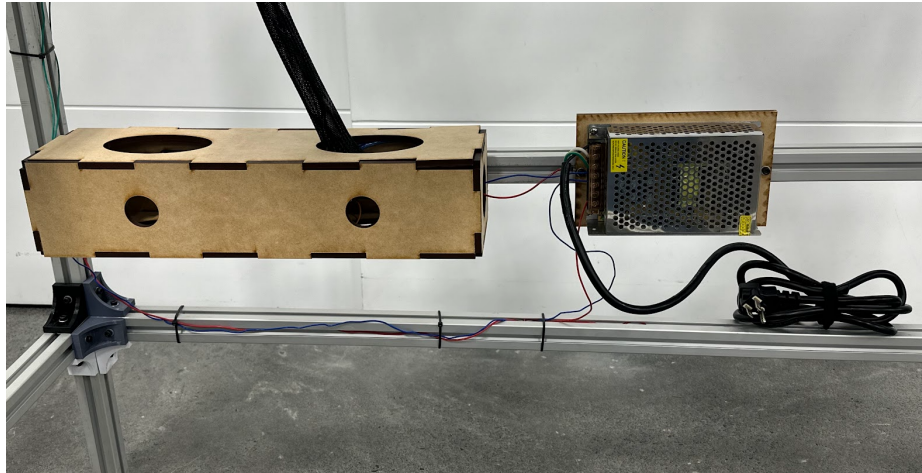
Además, se diseñó una pequeña caja de MDF para resguardar el sistema de control electrónico, que consta del Arduino Uno con su alimentación, el módulo de relés y el puente H. Este sistema puede observarse en la figura. Los componentes se fijaron a la caja utilizando tornillos M3, y esta se montó sobre un perfil ubicado en la parte interior de la estructura. Esto garantiza su protección, evita que interfiera con el operario de la máquina y reduce el riesgo de accidentes.

Figura 81: *Sistema de control electrónico*



Para alimentar este sistema de control electrónico, se utilizó una fuente de 12V. Se diseñó una pieza para anclarla a la estructura, de manera que quedara junto al sistema de control electrónico. Para proteger el Arduino Uno y evitar daños, se empleó un regulador de voltaje que proporciona una salida de 5V a través de un puerto USB tipo A, ideal para su alimentación. El módulo de relés recibe su alimentación de los 5V suministrados por el Arduino Uno, mientras que el puente H se conecta directamente a la fuente de 12V, ya que este voltaje es necesario para el funcionamiento del motor DC.

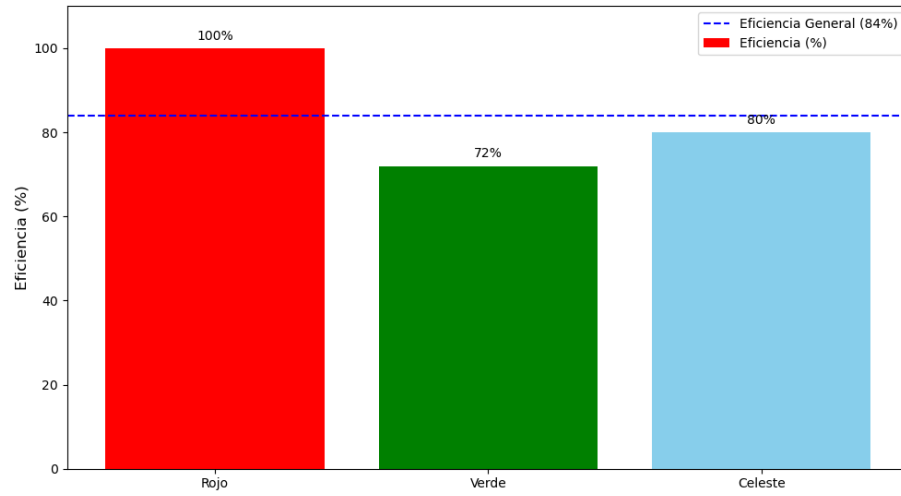
Figura 82: *Alimentación del sistema de control electrónico*



Por último, se llevaron a cabo diferentes pruebas de funcionamiento de la máquina. Se conectaron las salidas de los relés a las entradas del PLC, así como los finales de carrera. Para las salidas, se utilizaron dos conexiones que enviaban señales digitales al puente H, activando o desactivando el motor DC e invirtiendo su polaridad según fuera necesario. Durante las pruebas, se utilizaron tres botellas con diferentes colores de tapadera: rojo, verde y celeste. Cada botella fue puesta a prueba 50 veces, clasificando un total de 150 botellas.

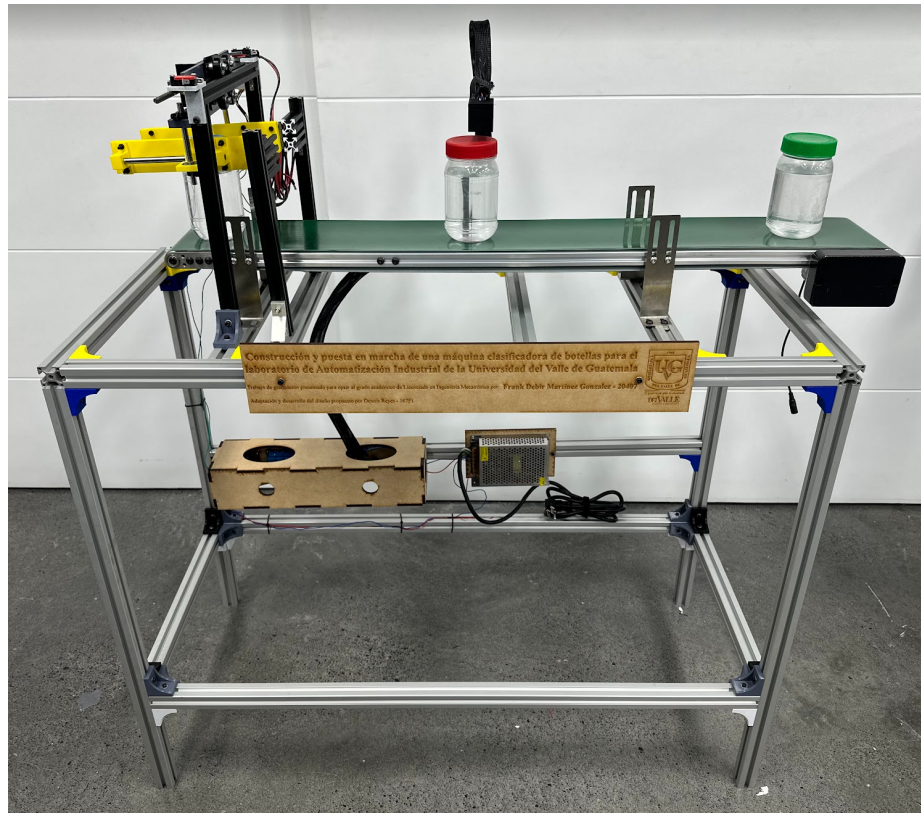
Para la botella con tapadera roja, se logró una eficiencia del 100 %, detectando correctamente el color en las 50 pruebas realizadas. En el caso del color verde, fue el que presentó más problemas, ya que no se logró detectar este color en 14 ocasiones, obteniendo una precisión del 72 %. Por último, la tapadera celeste no fue detectada en 10 ocasiones, logrando una precisión del 80 %. En general, se obtuvo una efectividad total del 84 %. Puede observarse en la Figura 83 un gráfico de barras de la eficiencia obtenida.

Figura 83: *Eficiencia de clasificación*



Estas limitaciones se deben principalmente a dos factores. El primero es el sensor de color utilizado, que no es un sensor industrial, lo que reduce su precisión. Para mejorar la detección, se deben realizar pruebas exhaustivas para determinar los rangos específicos de RGB de cada color y optimizar su precisión. El segundo factor es la velocidad de la banda transportadora. Si la banda se mueve demasiado rápido, el sensor de color no alcanza a detectar los colores correctamente. Por otra parte, si la banda se mueve más lento, el mecanismo de clasificación requiere más tiempo para regresar al centro y prepararse para la siguiente clasificación.

Figura 84: *Prototipo final*



A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos son muy positivos. Una efectividad del 84% es adecuada considerando que no se utiliza un sensor industrial y que la máquina tiene fines didácticos. Por lo tanto, se puede concluir que la máquina cumple con su función de clasificación de manera efectiva.

- Se logró rediseñar la máquina clasificadora, optimizando materiales y presupuesto.
- Se ensamblaron correctamente todos los componentes mecánicos, electrónicos y estructurales, asegurando un diseño modular y funcional.
- La máquina se puso en marcha con éxito, clasificando botellas por color (rojo, verde y celeste) mediante la integración del sensor de color, el Arduino y el PLC.
- Este trabajo de graduación cumple con su función didáctica al brindar a los estudiantes un primer acercamiento más claro a los procesos industriales. Al interactuar y programar la máquina clasificadora de botellas, los estudiantes pueden adquirir conocimientos prácticos sobre automatización y control, lo que facilita su comprensión de los conceptos aplicados en entornos industriales reales.

- Cambiar las uniones de los perfiles impresos en 3D por unas más resistentes para reforzar la estructura de la máquina
- Integrar un sensor de color más avanzado o mejorar el rango de detección del sensor TCS3200 para reducir los errores en la detección.
- Realizar pruebas con distintos colores para ajustar los rangos de detección y mejorar la precisión en la clasificación de las botellas.
- Implementar el control de la banda transportadora desde el PLC, permitiendo su activación y desactivación, según sea necesario.
- Se propone mecanizar las piezas del mecanismo de clasificación para aumentar su resistencia y durabilidad.
- Se propone incorporar un sensor de presencia en la máquina para que, al detectar una botella, la banda transportadora se detenga debajo del sensor de color, permitiendo una detección más precisa. Esto también permitiría aumentar la velocidad de la banda transportadora sin comprometer el funcionamiento del sistema.
- Organizar y etiquetar los cables de forma adecuada para garantizar un orden óptimo, evitando que queden sueltos o interfieran con el correcto funcionamiento de la máquina.
- Agregar un compartimento de recolección donde las botellas se ordenen después de ser clasificadas al final de la máquina.

-
- [1] D. A. Reyes Molina, "Diseño de una máquina de clasificación de frascos por color para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala," Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
 - [2] FESTO, *Estación de clasificación MPS D*. dirección: https://www.festo.com/co/es/p/estacion-de-clasificacion-id_PROD_DID_8046325/?page=0&q=%7E%3AfestoSortOrderScored&tab=SUPPORT_PORTAL&documentTypeGroup=CERTIFICATES&documentTypes=&supportPortalQ=.
 - [3] J. M. A. y. C. F. S. E. M. Pérez, *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. "MARCOMBO, S.A, 2009.
 - [4] J. B. y J. Romeral, *Autómatas Programables*. "MARCOMBO, S.A, 2009.
 - [5] SIEMENS, *SIMATIC S7-1500*. dirección: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>.
 - [6] P. Contact, *UT 4 - Borne de paso*. dirección: <https://www.phoenixcontact.com/es-pc/productos/borne-de-paso-ut-4-3044102>.
 - [7] P. Contact, *Relés semiconductores y relés electromecánicos*. dirección: <https://www.phoenixcontact.com/es-pc/productos/reles-y-optoacopladores/reles-semiconductores-y-reles-electromecanicos?p=76>.
 - [8] B. Johnston, *Mecanica De Materiales*. The McGraw-Hill Companies, Inc, 2010.
 - [9] item, *Perfil 8 40x40*. dirección: <https://www.item24.com/es-mx/perfil-8-40x40-h-natural-2603>.
 - [10] DARETEC, *Banda Transportadora L:150 x A:25 cm*. dirección: <https://daretec.mx/tienda/consumibles/banda-transportadora-para-codificador-conveyor-L1500>.
 - [11] R. Automation, *ColorSight Sensores de color y contraste*. dirección: <https://www.rockwellautomation.com/es-ar/products/hardware/allen-bradley/sensors-and-switches/presence-sensors/photoelectric-sensors/color-and-contrast-photoelectric-sensors/45clr-colorsight.html>.

- [12] ManualsDir, *45CLR ColorSight User Manual*, 2023. dirección: <https://www.manualsdir.com/manuals/576881/rockwell-automation-45clr-colorsight.html?download>.
- [13] U. N. de San Antonio Abad del Cusco, “Control de Motor DC,”
- [14] Pololu, *20.4:1 Metal Gearmotor 25Dx65L mm MP 12V with 48 CPR Encoder*. dirección: <https://www.pololu.com/product/4863>.
- [15] B. H. Engineering, *High Speed Steel versus Carbide in Metal Cutting - Why HSS is Still in Use*, 2024. dirección: <https://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/49448-high-speed-steel-versus-carbide-in-metal-cutting-why-hss-is-still-in-use/>.
- [16] *Belt Conveyor 39 inch Conveyor Desktop Version Step-Less Speed Adjustment PVC Belt Conveyor for Packaging Factory, Production Line, Home*. dirección: https://www.amazon.com/Moonshan-Transportador-escritorio-velocidad-producci%C3%B3n/dp/B0CCP8NSSJ/ref=sr_1_3?sr=8-3&language=en_US.

Figura 85: *Máquina clasificadora de botellas*

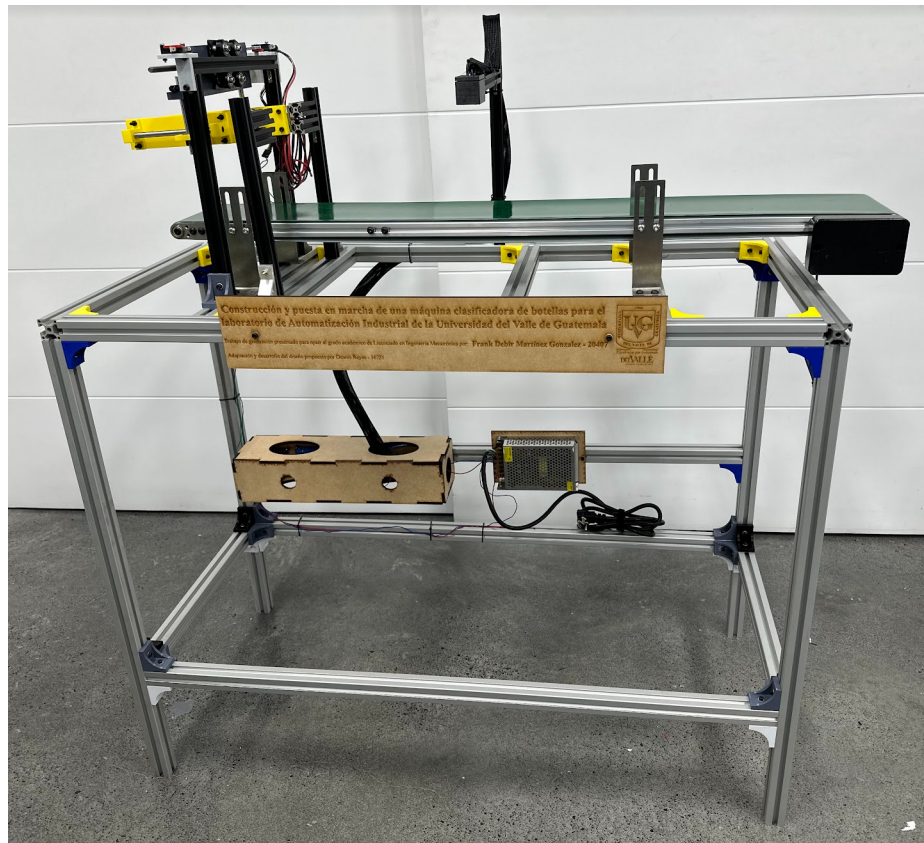


Figura 86: *Video del funcionamiento de la máquina*

