

# **Prototipo de un Sistema Clasificador de Botellas de Vidrio en base a su color**

José Ramiro Caucota

Carlos Alberto Ruiz Balderrama

Leonardo Vargas Condori

Docente: Kaleb Irahola Azad



Universidad Católica Boliviana San Pablo

Departamento de Ciencias de la Tecnología e Innovación

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Tarija

Prototipado Rápido

30 de mayo de 2025

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
I. PERFIL DEL PROYECTO .....	2
A. Planteamiento del problema .....	2
B. Definición del problema.....	2
C. Objetivos.....	2
1) Objetivo General.....	2
2) Objetivos Específicos .....	3
3) Límites .....	3
4) Alcances .....	4
II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	5
A. Antecedentes .....	5
III. DISEÑO CONCEPTUAL .....	7
A. Boceto.....	7
B. Identificación de Requerimientos. ....	7
C. Definición de funcionalidades.....	10
IV. DISEÑO DE INGENIERÍA .....	12
A. Selección.....	12
1) Tecnologías.....	12
2) Componentes .....	13
3) Materiales.....	17
4) Modelos.....	18
B. Esquematización.....	18
1) Diagramas de Bloques.....	18
a) Nivel 0.....	18

---

b) Nivel 1.....	19
c) Nivel 2.....	21
d) DFP .....	24
e) Planos Mecánicos.....	24
f) Diagrama P&ID.....	27
g) Diagrama Electrónico .....	27
h) Diagrama PCB .....	30
C. Dimensionamiento.....	32
1) Estructural.....	32
a) Cálculos de Ejes .....	32
b) Cálculos Estructurales .....	37
2) Modelo Matemático del Brazo (Preliminar).....	41
3) Filtros .....	44
4) Prototipado .....	45
5) Electrónico.....	47
6) PCB.....	48
7) Alimentación .....	49
V. RESULTADOS .....	50
A. Resultados.....	50
B. Conclusiones.....	50
C. Recomendaciones.....	51
VI. REFERENCIAS .....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de decisión de Entorno de Programación.....13

Tabla 2 Matriz de decisión de los Microcontroladores.....13

Tabla 3 Matriz de decisión del Sensor de color .....14

Tabla 4 Tabla de decisión del Sensor de Presencia .....14

Tabla 5 Matriz decisión de la Pantalla.....15

Tabla 6 Matriz de decisión de motor.....16

Tabla 7 Matriz de decisión del Servomotor .....17

Tabla 8 Matriz de decisión del Material.....17

Tabla 9 Matriz de decisión de la Relación de Trasmisión.....18

Tabla 10 Datos estandarizados de la PCB .....48

Tabla 11 Cálculo de alimentación.....49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Boceto Inicial.....	7
Figura 2 Análisis de la Pregunta 1 .....	7
Figura 3 Análisis de la Pregunta 4 .....	8
Figura 4 Análisis de la Pregunta 5 .....	8
Figura 5 Análisis de la pregunta 7.....	9
Figura 6 Análisis de la pregunta 12.....	9
Figura 7 Análisis de la pregunta 14.....	10
Figura 8 Nivel 0 del proyecto .....	19
Figura 9 Nivel 1 del proyecto .....	19
Figura 10 Nivel 2 de la Banda Transportadora .....	21
Figura 11 Nivel 2 del Brazo Robótico.....	22
Figura 12 Nivel 2 de todo el proyecto .....	23
Figura 13 Diagrama de Flujo del Proyecto .....	24
Figura 14 Plano Brazo Robótico.....	25
Figura 15 Plano Cinta Transportadora.....	26
Figura 16 Diagrama P&ID del proyecto.....	27
Figura 17 Esquemático FC-51 .....	27
Figura 18 Esquemático ULN2003 .....	28
Figura 19 Esquemático del Módulo I2C.....	28
Figura 20 Esquemático TCS3200 .....	29
Figura 21 Esquemático General.....	29
Figura 22 PCB FC-51 .....	30
Figura 23 PCB ULN2003.....	30
Figura 24 PCB LCD I2C.....	31

---

Figura 25 PCB TCS3200.....	31
Figura 26 Análisis de tensiones .....	37
Figura 27 Análisis de Seguridad .....	37
Figura 28 Análisis de Desplazamiento .....	38
Figura 29 Análisis de Deformaciones Unitarias.....	38
Figura 30 Análisis de Tensiones .....	39
Figura 31 Análisis del Factor de Seguridad .....	39
Figura 32 Análisis de Desplazamiento .....	40
Figura 33 Análisis de Deformaciones Unitarias.....	40
Figura 34 Posiciones Alcanzables del Brazo Robótico.....	43



## RESUMEN

En Bolivia, muchas empresas de bebidas buscan reducir su impacto ambiental mediante la reutilización de botellas de vidrio. Sin embargo, una de las principales dificultades radica en la necesidad de separarlas por color antes de su reciclarlas. Actualmente, esta tarea se realiza de forma manual, lo cual no solo ralentiza el proceso y resulta agotador para los trabajadores, también los expone a riesgos por el contacto constante con el vidrio.

Ante esta problemática, el presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo de sistema clasificador de botellas de vidrio basado en su color, destinado a automatizar este proceso y garantizar un manejo más seguro y eficiente. El sistema se fundamenta en sensores RGB e Infrarrojo para identificar los colores principales de las botellas y en un mecanismo automatizado de separación controlado mediante microcontroladores. La metodología incluyó el diseño, construcción y prueba del prototipo en un entorno controlado.

Además, el prototipo reduce los riesgos laborales y promueve una mayor sostenibilidad ambiental al facilitar el reciclaje de vidrio.

***Palabras clave* — Clasificación automática, sostenibilidad ambiental, botellas de vidrio, Seguridad laboral, Reciclaje.**



## I. PERFIL DEL PROYECTO

### A. *Planteamiento del problema*

En Bolivia, muchas empresas de bebidas están trabajando para cuidar el medio ambiente, y una de sus tareas más importantes es reutilizar botellas de vidrio. Pero para poder reutilizarlas correctamente, primero hay que separarlas por color. El problema es que esto todavía se hace a mano, con personas que pasan horas separando botellas una por una. Este trabajo no solo es lento y cansador, sino que también puede ser peligroso, porque los trabajadores están en contacto constante con vidrio.

Además, el método manual de clasificación presenta una alta probabilidad de errores, lo cual repercute negativamente en la eficiencia de producción, incrementa los costos operativos y provoca retrasos en la cadena de reciclaje. A pesar de que existen soluciones tecnológicas en otros países, estas no resultan aplicables en el contexto boliviano debido a su elevado costo, complejidad técnica y requerimientos de infraestructura industrial avanzada.

Por esta razón, se presenta una gran oportunidad de innovación: el desarrollo de un sistema automatizado de clasificación de botellas por color, diseñado específicamente para el entorno industrial nacional. Este sistema no solo optimizaría el proceso, reduciendo los errores, sino que también mejoraría la seguridad de los trabajadores y contribuiría a la modernización de las líneas de producción en el país.

### B. *Definición del problema*

La clasificación manual de botellas de vidrio por color en la industria boliviana es un proceso ineficiente, propenso a errores y riesgoso para los trabajadores. Aunque existen tecnologías automatizadas en el mercado internacional, estas no se adaptan al contexto nacional por su alto costo y complejidad operativa. Por tanto, se requiere una solución prototípica, automatizada y de bajo costo, capaz de realizar esta tarea de forma segura y eficiente dentro de las limitaciones técnicas y económicas del entorno local.

### C. *Objetivos*

#### 1) *Objetivo General*

Desarrollar un prototipo de un sistema automatizado de clasificación de botellas de vidrio que reduzca el tiempo de clasificación respecto al proceso manual, utilizando materiales de bajo costo, en un plazo de un mes y medio.

## 2) *Objetivos Específicos*

- Gestionar el equipo de trabajo del proyecto con la asignación clara de roles, tareas y herramientas de comunicación con técnicas de organización en un plazo de 2 semanas.
- Prototipar el sistema automatizado de clasificación de botellas de vidrio en un plazo de 3 semanas, supervisando la eficiencia en el ensamblaje y asegurando un flujo de trabajo óptimo durante todo el proceso de desarrollo.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo en una semana, garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos, realizando los ajustes necesarios para optimizar su rendimiento.
- Evaluar el rendimiento del prototipo en un plazo de una semana, con la finalidad de verificar el cumplimiento de los estándares de calidad definidos y efectuar las correcciones necesarias para optimizar su funcionamiento.

### Delimitación

## 3) *Límites*

El presente proyecto está enfocado en el desarrollo de un prototipo funcional a escala reducida para la clasificación automatizada de botellas de vidrio según su color. Debido a su naturaleza académica y de prototipado rápido, se establecen las siguientes limitaciones:

- Escala reducida: No se emplearán botellas reales de vidrio. En su lugar, se utilizarán objetos simulados fabricados en PLA u otros materiales ligeros, con dimensiones similares a las botellas reales.
- Clasificación únicamente por color: El sistema estará diseñado exclusivamente para diferenciar botellas según su color. No se incluirá reconocimiento de forma, tamaño, volumen ni etiqueta.
- Componentes no industriales: Se utilizarán sensores y actuadores de bajo costo, adecuados para demostraciones y validaciones funcionales, pero no aptos para ambientes industriales exigentes o de alta precisión.
- Ambiente controlado: Las pruebas del sistema se realizarán en condiciones estables de iluminación y temperatura. No se contempla el uso del prototipo en entornos con humedad, polvo u otras variables ambientales que afecten la operación.

#### 4) Alcances

El alcance del proyecto contempla la diseño, construcción y validación funcional de un sistema automatizado capaz de clasificar objetos simulados de acuerdo con su color. En este contexto, el sistema incluirá:

- Una cinta transportadora funcional, equipada con sensores de presencia que detecten la llegada de objetos a la zona de clasificación.
- Un sensor cromático que identifique los colores de los objetos en movimiento.
- Un brazo robótico controlado por servomotores, encargado de mover los objetos clasificados hacia las zonas correspondientes.
- Un sistema de control embebido, basado en microcontroladores ESP32, que integre y coordine todos los componentes del sistema.
- Una interfaz de visualización básica (pantalla LCD), para mostrar información del estado del sistema.

Este prototipo demostrará la viabilidad técnica del proceso de clasificación automática por color, estableciendo una base sólida para su futura adaptación a entornos industriales reales mediante mejoras en sensores, materiales y robustez del sistema.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### A. Antecedentes

Se presenta el desarrollo de una estación automática de clasificación de productos basada en visión de máquina, integrando software de código abierto y hardware comercial Allen Bradley. El proyecto, realizado en la Universidad del Cauca, aborda el diseño mecánico median [1]te CAD Solid Edge, la programación de visión artificial usando OpenCV en C++, y la automatización siguiendo normas ISA. El sistema clasifica botellas plásticas y accesorios de PVC en cuatro tipos establecidos, alcanzando una capacidad de hasta 224 botellas o 206 piezas de PVC por minuto con un bajo margen de error del 0.8%. Se destaca la implementación de un enfoque modular y el uso de redes industriales como DeviceNet para la comunicación entre componentes, logrando un prototipo funcional que demuestra la viabilidad de integrar tecnologías libres y comerciales en aplicaciones de automatización industrial. [1]

Este trabajo implementa un sistema de clasificación de botellas PET por color, utilizando visión artificial con algoritmos de reconocimiento integrados en LabVIEW, y un sistema de control basado en Arduino. El proceso se apoya en el algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) para categorizar colores captados por una cámara, logrando una eficiencia del 75%. Se utilizó un módulo de control neumático para realizar la separación física. Este tipo de solución se basa en técnicas de aprendizaje supervisado y procesamiento de imágenes, fundamentales en la automatización del reciclaje. El uso de interfaces entre software industrial y hardware embebido refuerza la viabilidad en sistemas mecatrónicos autónomos. [2]

Se diseñó un sistema modular de banda transportadora fabricado mediante impresión 3D (material PLA), enfocado a la emulación de procesos industriales. El proyecto se fundamenta en el uso de sistemas de control abiertos (como Arduino), aplicando la metodología “Design Thinking” para validar el desarrollo iterativo del prototipo. Su construcción sin tornillería permite ensamblajes rápidos y bajos costos, y fomenta la educación técnica en el contexto de Industria 4.0. Este tipo de prototipos representa una base didáctica y experimental ideal para pruebas de automatización, sensores y clasificadores en procesos reales, además de ser escalables hacia aplicaciones en IoT o monitoreo remoto. [3]

---

En respuesta al aumento de residuos sólidos urbanos en Cochabamba, se diseñó un sistema automatizado de clasificación mediante cinta transportadora y sensores. Basado en un controlador lógico programable (PLC), el sistema identifica materiales reciclables por peso y tamaño, dirigiéndolos a distintas áreas. Este enfoque se fundamenta en la lógica secuencial programable, aplicada comúnmente en la industria para tareas de sorting. Al emplear sensores de proximidad, fotointerrupción y carga, se mejora la eficiencia de clasificación y se reducen los costos operativos y de separación manual. El sistema puede adaptarse a líneas de reciclaje urbano, mejorando la sostenibilidad del modelo de gestión de residuos. [4]

En conclusión el desarrollo de un prototipo de sistema automatizado para la clasificación y envasado de piezas metálicas, diseñado para optimizar los procesos industriales mediante el uso de tecnologías neumáticas y controladores lógicos programables (PLC) con software TIA Portal V14. El sistema incorpora cilindros neumáticos, electroválvulas, sensores magnéticos y transportadores automatizados, permitiendo el empaquetado eficiente y seguro de productos metálicos. Entre sus principales beneficios se destacan la reducción de costos de mano de obra, el incremento en la seguridad de los operarios, la disminución de los tiempos de procesamiento y el aumento en la productividad general. Este prototipo demuestra la viabilidad de la automatización como herramienta clave para mejorar la eficiencia y la competitividad en sectores industriales como la manufactura, automotriz, alimentario, entre otros. [5]

### III. DISEÑO CONCEPTUAL

#### A. Boceto.

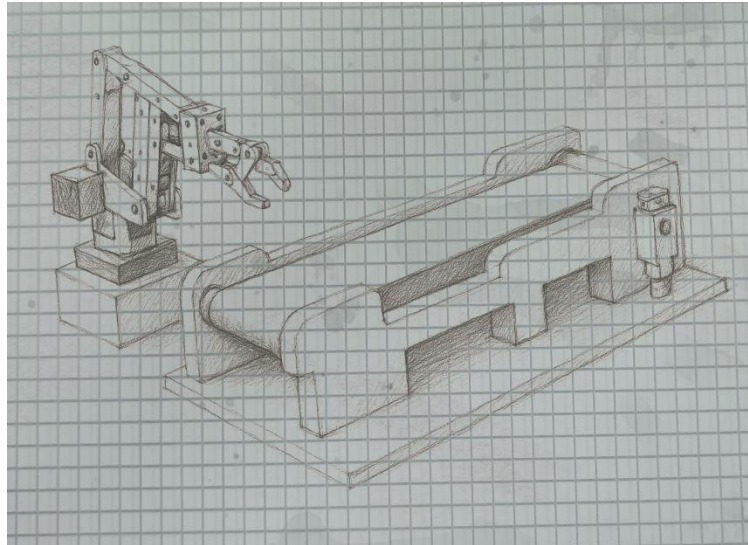


Figura 1 Boceto Inicial

#### B. Identificación de Requerimientos.

La encuesta realizada tuvo un alcance de 16 respuestas, donde los encuestados respondieron a un total de 14 preguntas diseñadas específicamente para conocer la percepción del público respecto al proyecto que se planea desarrollar. El objetivo principal de esta recolección de datos es analizar las opiniones y expectativas de los usuarios potenciales, permitiendo identificar áreas de mejora y ajustar el diseño del proyecto para asegurar su viabilidad y aceptación en el mercado.

#### Encuesta:

- **Pregunta 1:** El desarrollo del sistema representa una solución tecnológica adecuada para el contexto local

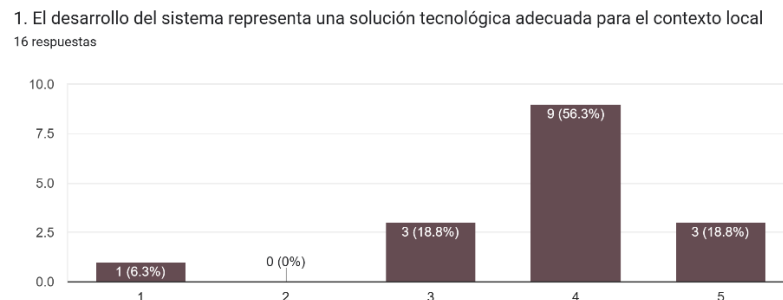


Figura 2 Análisis de la Pregunta 1

El 75.1% de los encuestados considera que el sistema propuesto representa una solución adecuada para el contexto boliviano. Esto valida la necesidad de una alternativa local, adaptada a las limitaciones económicas y técnicas de la industria nacional.

- **Pregunta 4:** Que tan necesario ve que el sistema se adapte a diferentes entornos como ser cambios en las condiciones de iluminación o humedad

4. Que tan necesario ve que el sistema se adapte a diferentes entornos como ser cambios en las condiciones de iluminación o humedad  
16 respuestas

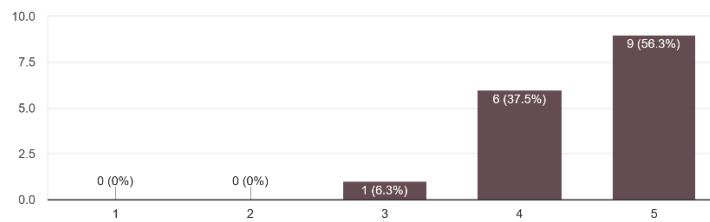


Figura 3 Análisis de la Pregunta 4

El 56.3% opina que el sistema debe adaptarse a condiciones variables como iluminación o humedad. Esto plantea el requerimiento de implementar mecanismos que aseguren la robustez del sistema ante cambios ambientales moderados.

- **Pregunta 5:** El prototipo debería ser fácil de operar por cualquier persona con conocimiento básicos

5. El prototipo debería ser fácil de operar por cualquier persona con conocimientos básicos  
16 respuestas

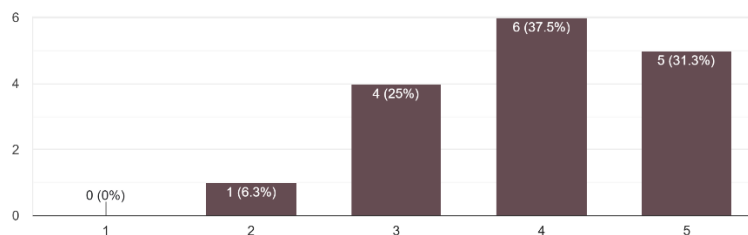


Figura 4 Análisis de la Pregunta 5

Donde los datos obtenidos nos muestran que un 68.8% nos indica que el prototipo del sistema debe ser de fácil operación para las personas encargadas de manipular esta máquina, y un 25% se mantiene neutro y el 6.3% no lo ve necesario.

- **Pregunta 7:** EL proyecto tiene potencial para escalarse y adaptarse a distintas necesidades de la industrial

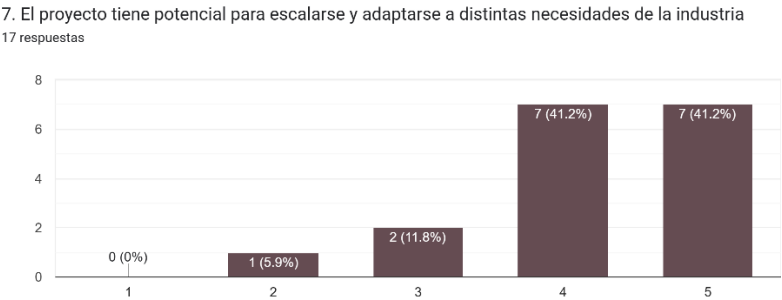


Figura 5 Análisis de la pregunta 7

Un 82.2% cree que el sistema puede escalarse y adaptarse a otros procesos industriales. Esta percepción refuerza la necesidad de diseñar una arquitectura modular y flexible, con posibilidad de integrar nuevas funciones o adaptarse a distintos flujos de trabajo, y solo un 11,8% se mantiene neutral y el 5.9% no está de acuerdo.

- **Pregunta 12:** Está de acuerdo con que la automatización permitirá un flujo de trabajo más continuo y sin interrupciones, lo que mejoraría la productividad en la planta de reciclaje

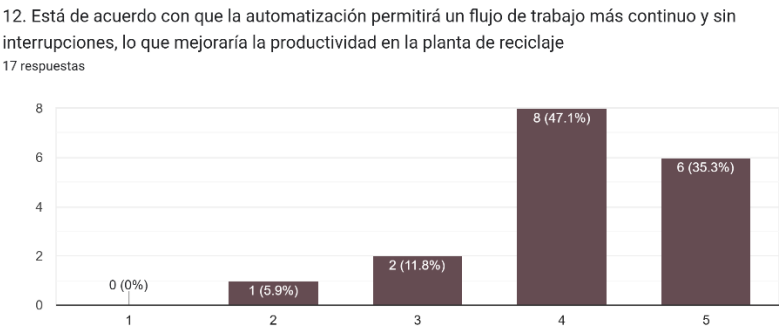


Figura 6 Análisis de la pregunta 12

El 82.4% considera que la automatización mejorará el flujo de trabajo en plantas recicladoras, evidenciando el interés en reducir tiempos muertos, aumentar la eficiencia operativa y minimizar el error humano. Y solo un 11.8% se mantiene neutro y un 5.9% no piensa está de acuerdo.

- **Pregunta 14:** Considera que las empresas del sector del reciclaje de vidrio deberían invertir en tecnologías automatizadas a pesar de los costos iniciales



14. Considera que las empresas del sector del reciclaje de vidrio deberían invertir en tecnologías automatizadas a pesar de los costos iniciales

17 respuestas

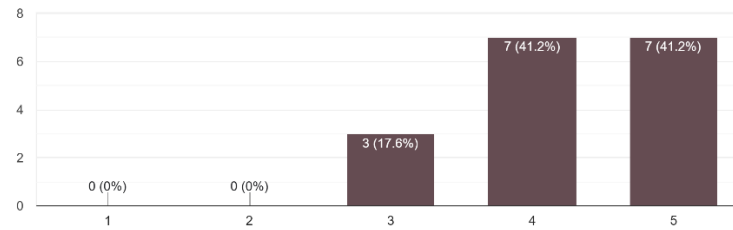


Figura 7 Análisis de la pregunta 14

También el 82.4% opina que las empresas del rubro deberían invertir en automatización, incluso con un alto costo inicial, lo que sugiere que existe una disposición a adoptar nuevas tecnologías si estas ofrecen beneficios sostenibles, luego de ello un 17.6% se mantiene neutral respecto a esta pregunta.

### C. Definición de funcionalidades.

#### Debe tener:

- **Reconocer los colores de manera correcta:** La precisión en la identificación de colores es crucial para la correcta clasificación de las botellas.
- **Sistema intuitivo para su manejo:** Un sistema fácil de usar reduce el tiempo de capacitación y minimiza errores operativos.
- **Interfaz para monitoreo:** La capacidad de monitorear el sistema en tiempo real de manera remota permite detectar y corregir problemas rápidamente.
- **Clasificación automática según aplicaciones específicas:** La automatización de la clasificación asegura que el proceso sea rápido y preciso.
- **Materiales óptimos para el prototipo:** Utilizar materiales de alta calidad garantiza la durabilidad y fiabilidad del sistema.
- **Sensores infrarrojos y ópticos:** Estos sensores son esenciales para la detección precisa de las botellas y su color.
- **Área segura de trabajo para el operario:** La seguridad del operario es primordial para prevenir accidentes.

#### Debería tener:

- **Integrable a un proceso previamente automatizado:** La capacidad de integrar el sistema con procesos existentes facilita la implementación.
- **Brazo robótico con alta precisión de movimiento:** La precisión en el movimiento del brazo robótico es crucial para la correcta manipulación de las botellas.
- **Flujo de trabajo continuo:** Un flujo de trabajo sin interrupciones maximiza la productividad.

**Podría tener:**

- **Almacenamiento para Estadísticas.** - El almacenamiento diseñado para estadísticas implica la creación de una infraestructura que recopile, organice y almacene grandes volúmenes de datos, permitiendo su posterior análisis.
- **Aplicación Móvil para Monitoreo de Sistema.** - Una aplicación móvil para monitoreo de sistema permite la supervisión en tiempo real del rendimiento y estado de un sistema o infraestructura tecnológica desde dispositivos portátiles.
- **Sistema de Autodiagnóstico para Localizar Fallos.** - Un sistema de autodiagnóstico automatiza la detección y análisis de fallos dentro de una infraestructura tecnológica o máquina. Utiliza algoritmos avanzados, como redes neuronales o modelos de aprendizaje supervisado, para identificar patrones de error.
- **Conexión a Internet e Implementación de la Inteligencia Artificial.** - La conexión a Internet es fundamental para implementar inteligencia artificial, ya que permite el acceso a grandes volúmenes de datos, el uso de procesamiento en la nube y la actualización de modelos en tiempo real.
- **Clasificación de más de 3 colores.** - Será esencial para la clasificación, de objetos, tomado en cuenta rasgos de los colores principales que son: Azul, rojo y verde, para este proceso de toma en cuenta la reflexión de luz, que nos permitirá tener una mejor precisión al momento de aplicar el sensor.

**No debe tener:**

- **Materiales de baja gama:** Ya que no ofrecen la resistencia ni la durabilidad necesarias para procesos de operación a largo plazo. Ocasionan fallas

prematuras, incrementando los costos de mantenimiento y disminuyendo la confiabilidad.

- **Detección de formas o tamaños:** Ya que en el proceso de reciclaje el criterio principal de clasificación es el color de las botellas, por lo que agregar esta funcionalidad solo aumentaría la complejidad y el costo del sistema sin aportar un beneficio real.
- **Autonomía energética:** El sistema no debe operar con baterías recargables, ya que está pensado para instalaciones industriales o semi-industriales donde se cuenta con suministro eléctrico constante desde la red.
- **Mal diseño y falta de calidad en la arquitectura:** El diseño de la máquina evitará estructuras débiles o mal ensambladas que comprometan su estabilidad.
- **Fallos técnicos de manera recurrente:** Minimizará fallos optimizando su programación y asegurando una calibración precisa. Se descartarán componentes poco fiables y se implementarán diagnósticos preventivos.

#### IV. DISEÑO DE INGENIERÍA

##### A. Selección

Para la selección de todos los puntos que requiere el proyecto se optó por el Método de Ponderación de Criterios, donde se compararon 3 productos o métodos diferentes, de los cuales se evaluó algunos criterios importantes para el grupo, donde se dio su respectiva ponderación, donde se el ganador es que el obtiene el mejor puntaje.

##### 1) Tecnologías

CRITERIO	PONDERACIÓN	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
FACILIDAD	3	3	9	5	15	2	6
ENTORNO DE DESARROLLO	2	2	4	3	6	5	10
COMPATIBILIDAD	4	2	8	5	20	3	12
DOCUMENTACIÓN	1	3	3	4	4	3	3

<b>TOTAL</b>	10		24		45		31

Tabla 1 Tabla de decisión de Entorno de Programación

En la matriz de decisión se tomaron muchos datos en cuenta como ser la facilidad de uso, y la compatibilidad que este tiene con algunos componentes, donde son las ponderaciones más altas y dándoles los valores necesarios se llegó a un ganador que es el Arduino IDE con 45 puntos.

## 2) Componentes

<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>	<b>PRODUCTO A</b>		<b>PRODUCTO B</b>		<b>PRODUCTO C</b>	
CONECTIVIDAD	4	5	20	3	12	1	4
PROCESAMIENTO	3	5	15	4	12	2	6
USO	2	3	6	2	4	5	10
COSTOS	1	4	4	3	3	4	4
<b>TOTAL</b>	10		45		31		24

Tabla 2 Matriz de decisión de los Microcontroladores

En este apartado se comparó los microcontroladores que se usaran en el proyecto, donde los criterios que se ponderaron con un mayor puntaje fueron los de la conectividad que estos tienen con los diferentes componentes como ser sensores o actuadores, de igual manera su procesamiento

que tan rápidos y eficientes son. Donde el ganador en este caso fue la ESP32 con 45 puntos seguido de la STM32.

CRITERIO	PONDERACIÓN	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
USO	3	5	15	4	12	2	6
COMPATIBILIDAD	2	5	10	4	8	3	6
PRECISION	3	3	9	4	12	5	15
COSTO	2	5	10	4	8	2	4
TOTAL	10		44		40		31

Tabla 3 Matriz de decisión del Sensor de color

Se compararon tres productos diferentes, donde se vio algunos criterios como ser el uso y la precisión, ya que son puntos importantes que se necesitan para un buen desarrollo del proyecto y una alta fiabilidad de su desarrollo. Donde el ganador fue el TCS3200, con un puntaje de 44.

CRITERIO	PONDERACIÓN	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
USO	3	5	15	4	12	3	9
COMPATIBILIDAD	2	5	10	5	10	4	8
PRECISION	3	4	12	3	9	5	15
COSTO	2	5	10	4	8	2	4
TOTAL	10		47		39		36

Tabla 4 Tabla de decisión del Sensor de Presencia

Se buscó muchos sensores de los cuales se puso 3 los cuales se encontraban en Bolivia, donde los criterios de evaluación fueron el uso, compatibilidad, precisión y el costo. Donde al darle su puntaje respectivo el ganador fue FC-51 un sensor infrarrojo.

CRITERIO	PONDERACIÓN	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
VISUALIZACION	3	5	15	3	9	4	12
USO	2	5	10	5	10	4	8
COMPATIBILIDAD	2	5	10	5	10	5	10
COSTOS	3	4	12	5	15	3	9
TOTAL	10		47		44		39

Tabla 5 Matriz decisión de la Pantalla

En este apartado lo que se busco fue las diferentes pantallas disponibles en el mercado, donde las ponderaciones que se tomaron en cuenta fueron la visualización, uso, compatibilidad y costos donde el ganador fue una pantalla LCD de 20x4, este con una ponderación de 47 puntos, seguido de una pantalla de LCD de 16x4 con 44.

CRITERIO	PONDERACIÓN	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
PRECISION	4	3	12	5	20	4	16
TORQUE	3	3	9	5	15	4	12
CONTROL	2	2	4	3	6	5	10
COMPATIBILIDAD	1	4	4	5	5	5	5
TOTAL	10		29		46		43

Tabla 6 Matriz de decisión de motor

Según esta matriz se compararon diferentes tipos de motores los cuales nos podrían mejorar el desarrollo del proyecto, donde los criterios que se evaluaron fueron el de precisión y torque los cuales fueron uno de los más importantes. Donde el ganador entre todos fue un Motor Paso a Paso donde ganó con 46 puntos.

CRITERIO	PONDERACIÓN	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
PRECISION	3	5	15	3	9	5	15
TORQUE	3	2	6	5	15	4	12
TAMAÑO	2	5	10	2	4	5	10
DURABILIDAD	2	3	6	4	8	5	10
TOTAL	10		37		36		47

Tabla 7 Matriz de decisión del Servomotor

En este apartado se vieron diferentes tipos de servomotores los cuales se usarán en el brazo robótico, donde se busca de los motores a seleccionar es la precisión y el torque esto debido que se requiere un correcto funcionamiento del brazo. Donde dándole las puntuaciones a cada elemento se obtuvo que el ganador fue MG90S con 47 puntos.

### 3) Materiales

CRITERIO	PONDERACIÓN	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
FLEXIBILIDAD	2	2	4	2	4	6	12
RESISTENCIA	4	3	12	4	16	4	16
MANIPULABLE	1	4	4	2	2	2	2
COSTOS	3	5	15	3	9	1	3
TOTAL	10		35		31		33

Tabla 8 Matriz de decisión del Material

Para la construcción de todo el proyecto se tomó en cuenta los diferentes materiales con los que se puede imprimir, donde al comparar estos 3 productos con sus respectivos criterios se obtuvo que el ganador fue el PLA con una puntuación de 35 puntos.



4) Modelos

CRITERIO	PONDERACIÓ N	PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C	
PRECISION	3	5	15	3	9	4	12
EFICIENCIA	1	5	5	4	4	3	3
COSTOS	2	4	8	5	10	3	6
MANTENIMIENTO	4	4	16	5	20	3	12
TOTAL	10		44		43		33

Tabla 9 Matriz de decisión de la Relación de Trasmisión

Para el apartado mecánico se vieron muchas opciones de como implementar los diferentes tipos de relaciones de transmisiones, donde al evaluarlas con los siguientes criterios como ser la precisión, el mantenimiento que se le debe dar se pudo llegar a un ganador que fue una relación por engranajes ganadora por 44 puntos seguida de la polea con banda.

B. Esquematización

1) Diagramas de Bloques

a) Nivel 0



Figura 8 Nivel 0 del proyecto

Este nivel muestra una vista general del sistema completo. Se identifican las entradas y salidas principales conectadas al bloque central, de igual manera se ve los servicios que se requiere para un correcto funcionamiento del proyecto. En la parte inferior se puede ver que el proyecto contará con una pantalla con la pueda mostrar los datos necesarios al usuario.

Este nivel resume los componentes esenciales o más básico de todo el proyecto, por eso se define como el Nivel 0.

b) Nivel 1

## Nivel 1: Descomposición

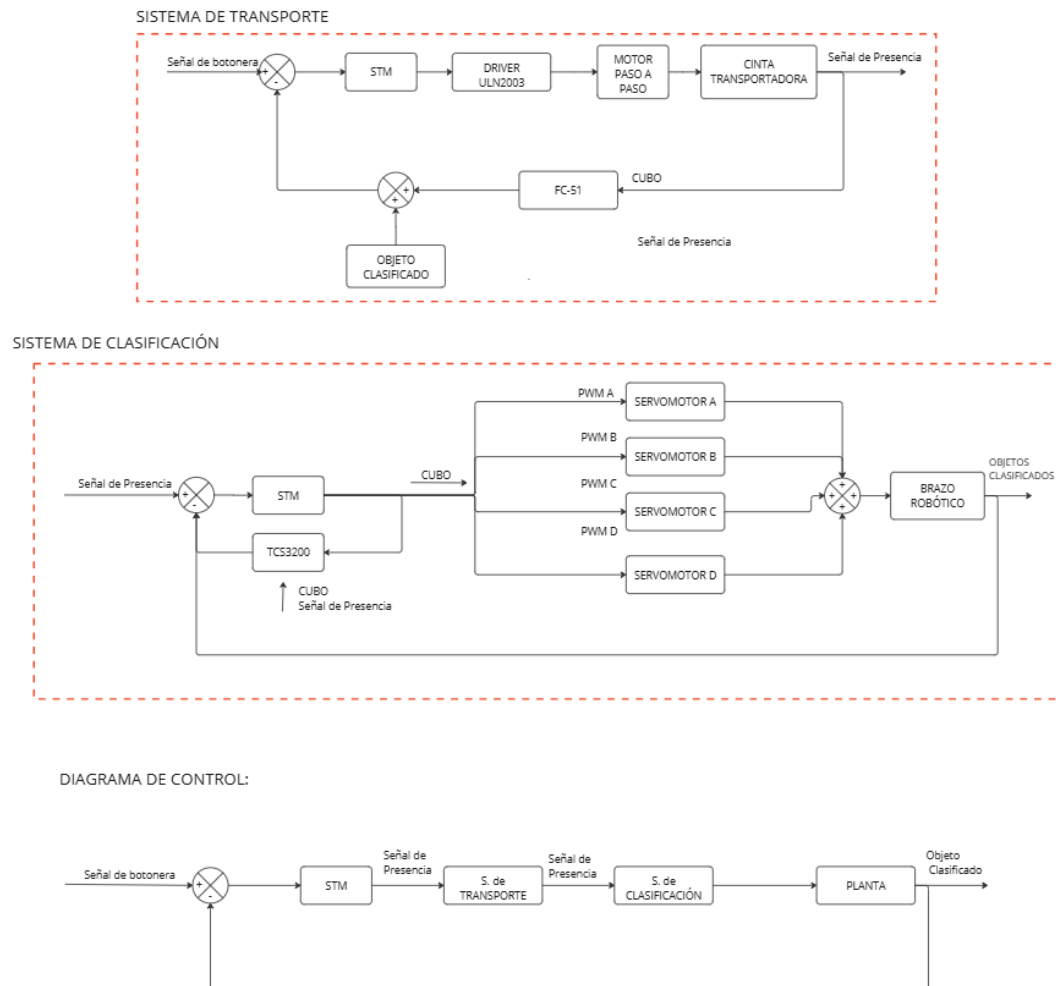


Figura 9 Nivel 1 del proyecto

En este apartado se detalla cómo está construido el sistema, separándolo en tres subsistemas, esto se hace para tener comprender de mejor manera como funciona todo el proceso de manera genérica. Este nivel conocido como diagramas de bloques, nos muestra cómo cada parte del sistema se comunica entre sí, siguiendo los diagramas presentes de Control.

Como ser el subsistema de transporte el cual depende de diferentes tipos de bloques los cuales son: el microcontrolador, que este le llega la señal de entrada la cual es comparada con la señal retroalimentada, este toma una decisión y de eso pasa al controlador Driver donde hace que nuestro bloque actuador que es el motor se prenda o apague, este interactuando en nuestra planta que es la cinta transportadora, seguido de eso tenemos una retroalimentación con nuestro sensor de FC-51, el cual debe mandar una señal al bloque sumador, donde se debe sumar con la señal enviada por el siguiente subsistema.

En el siguiente diagrama se puede determinar como el subsistema de clasificación, funciona con el mismo microcontrolador, el cual primero tiene una pequeña retroalimentación con el sensor de color, el cual nos indica cual es el color del objeto. Con esto nos manda la señal a los diferentes tipos de servomotores los cuales estarán presentes en el brazo robótico, cada uno con un ángulo diferente, con la finalidad de llevar el objeto a su debido lugar.

En el diagrama final se ve como ambos subsistemas están conectados en serie, donde el microcontrolador es el encargado de mandar sus debidas órdenes a cada bloque de control para tener una retroalimentación, viendo si el proceso se culminó.

## c) Nivel 2

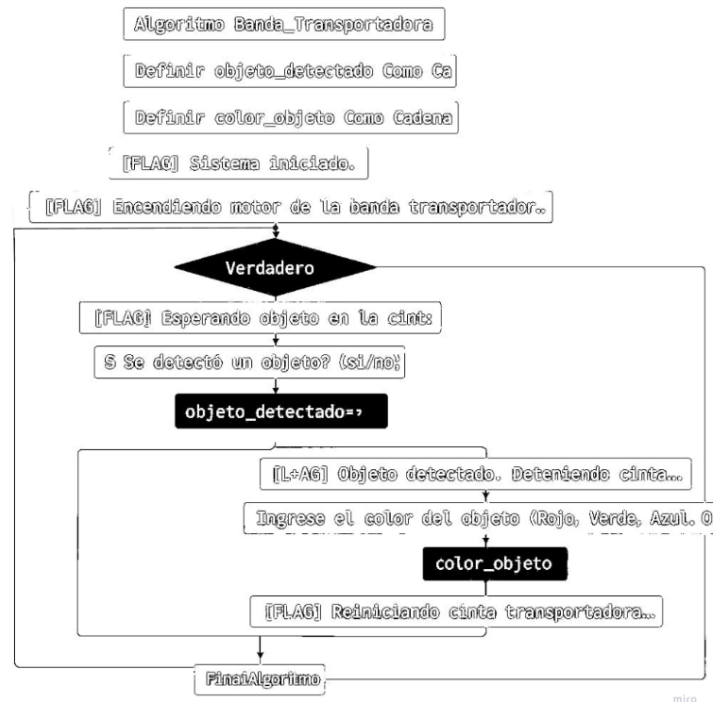


Figura 10 Nivel 2 de la Banda Transportadora

El siguiente diagrama de flujo representa el comportamiento lógico del sistema de clasificación por color mediante cinta transportadora. El algoritmo comienza con la activación del motor, detecta la presencia de un objeto mediante sensor infrarrojo, y una vez detectado, se realiza la lectura del color del objeto. Según el color identificado, el sistema procede a clasificarlo mediante el movimiento del brazo robótico a la zona correspondiente. Finalmente, el ciclo se reinicia.

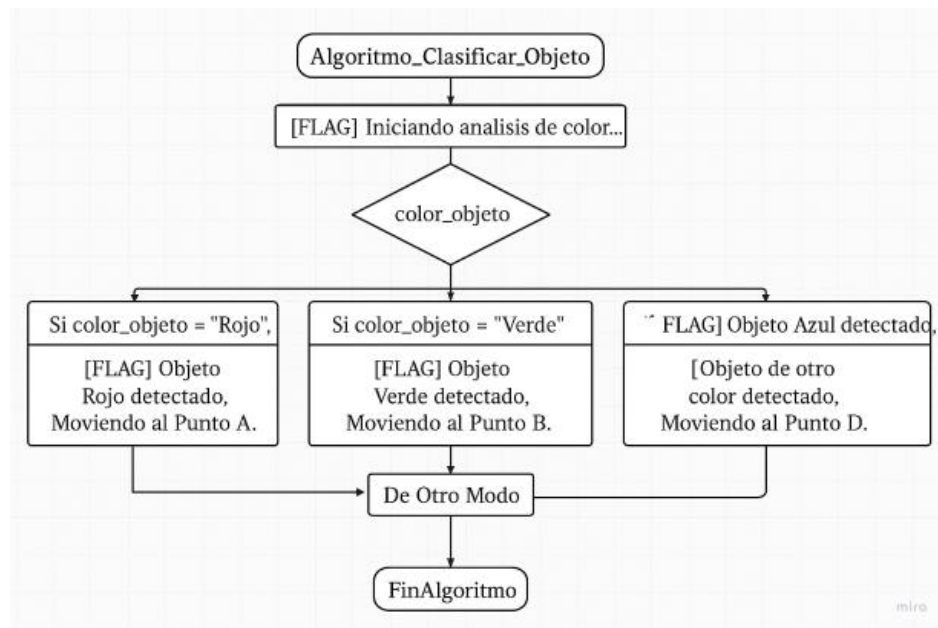


Figura 11 Nivel 2 del Brazo Robótico

El diagrama de flujo “Algoritmo\_Clasificar\_Objeto” detalla la lógica interna del proceso de clasificación según el color detectado por el sensor.

Una vez que se ha identificado un objeto y se ha leído su color, el sistema entra en esta subrutina de decisión. Mediante una serie de condiciones, compara el valor `color_objeto` con los colores programados y envía una señal al brazo robótico para mover el objeto a su posición de destino correspondiente:

- Si el color es rojo, el objeto es enviado al Punto A.
- Si el color es verde, el objeto es enviado al Punto B.
- Si el color es azul u otro distinto, el objeto se redirige al Punto D como clasificación general.

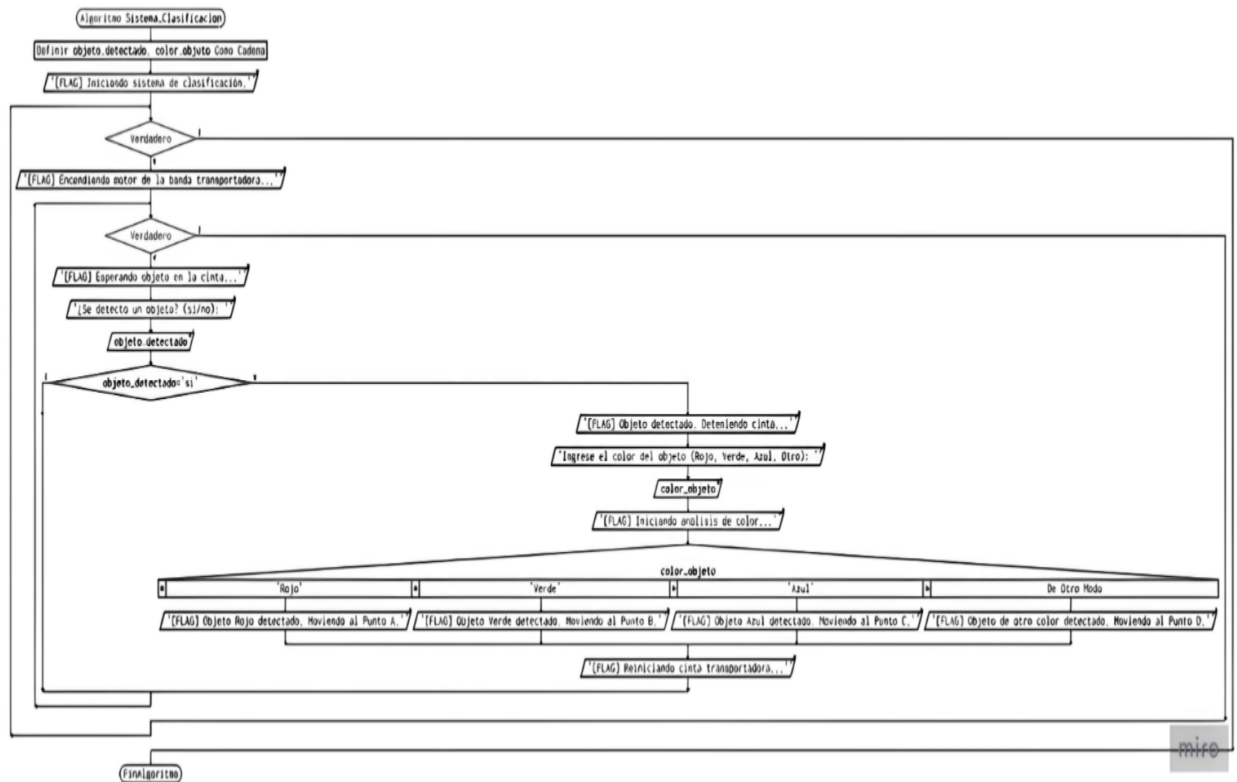


Figura 12 Nivel 2 de todo el proyecto

El diagrama de flujo completo del sistema representa la lógica central de operación del clasificador automático de botellas por color. Se comienza con la inicialización del sistema, seguido del encendido del motor de la cinta transportadora. Cuando un sensor infrarrojo detecta la presencia de un objeto, la cinta se detiene y se procede al análisis del color utilizando un sensor cromático.

El sistema clasifica el objeto según su color, enviando señales al brazo robótico para moverlo a un punto específico A, B, C o D. Finalmente, se reinicia la cinta y se repite el proceso.

El Nivel 2 con diagramas de flujo muestra cómo piensa y actúa el sistema paso a paso, dividiendo el proceso en transporte, detección, análisis de color y clasificación. Este nivel es clave para programar el comportamiento del sistema en un microcontrolador o software de automatización.

d) DFP

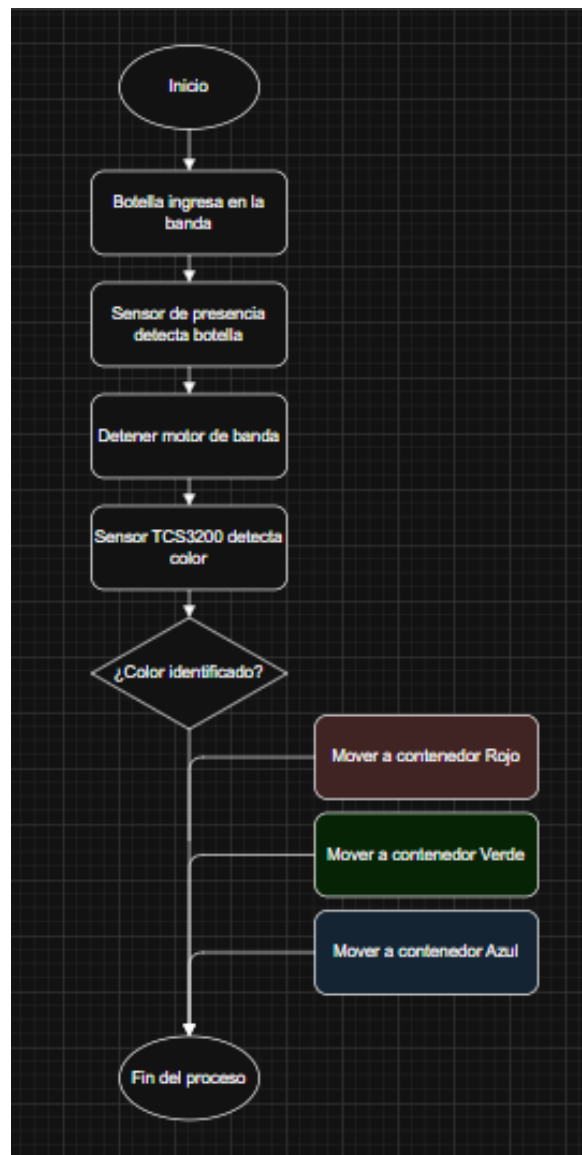


Figura 13 Diagrama de Flujo del Proyecto

e) Planos Mecánicos

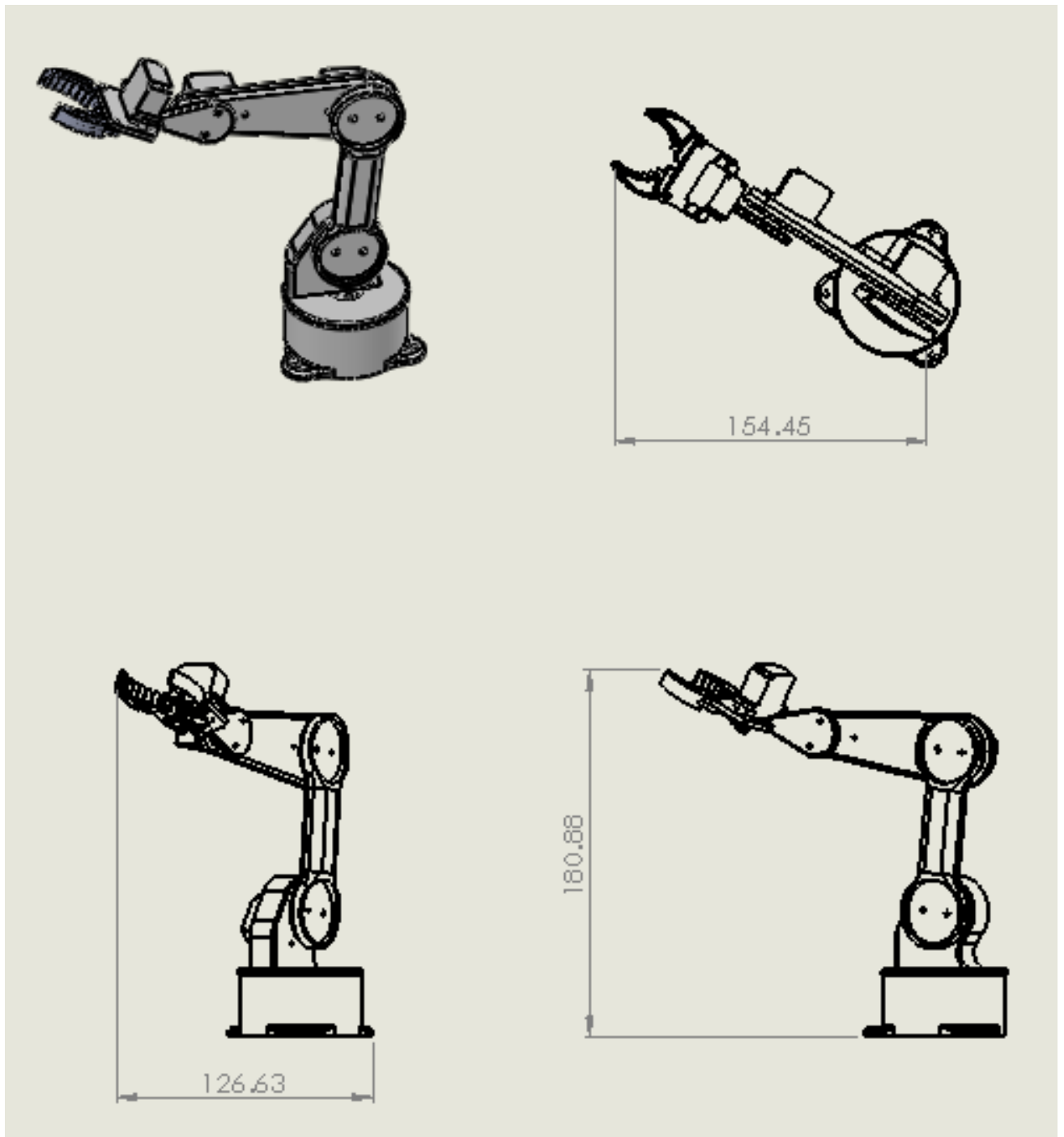


Figura 14 Plano Brazo Robótico



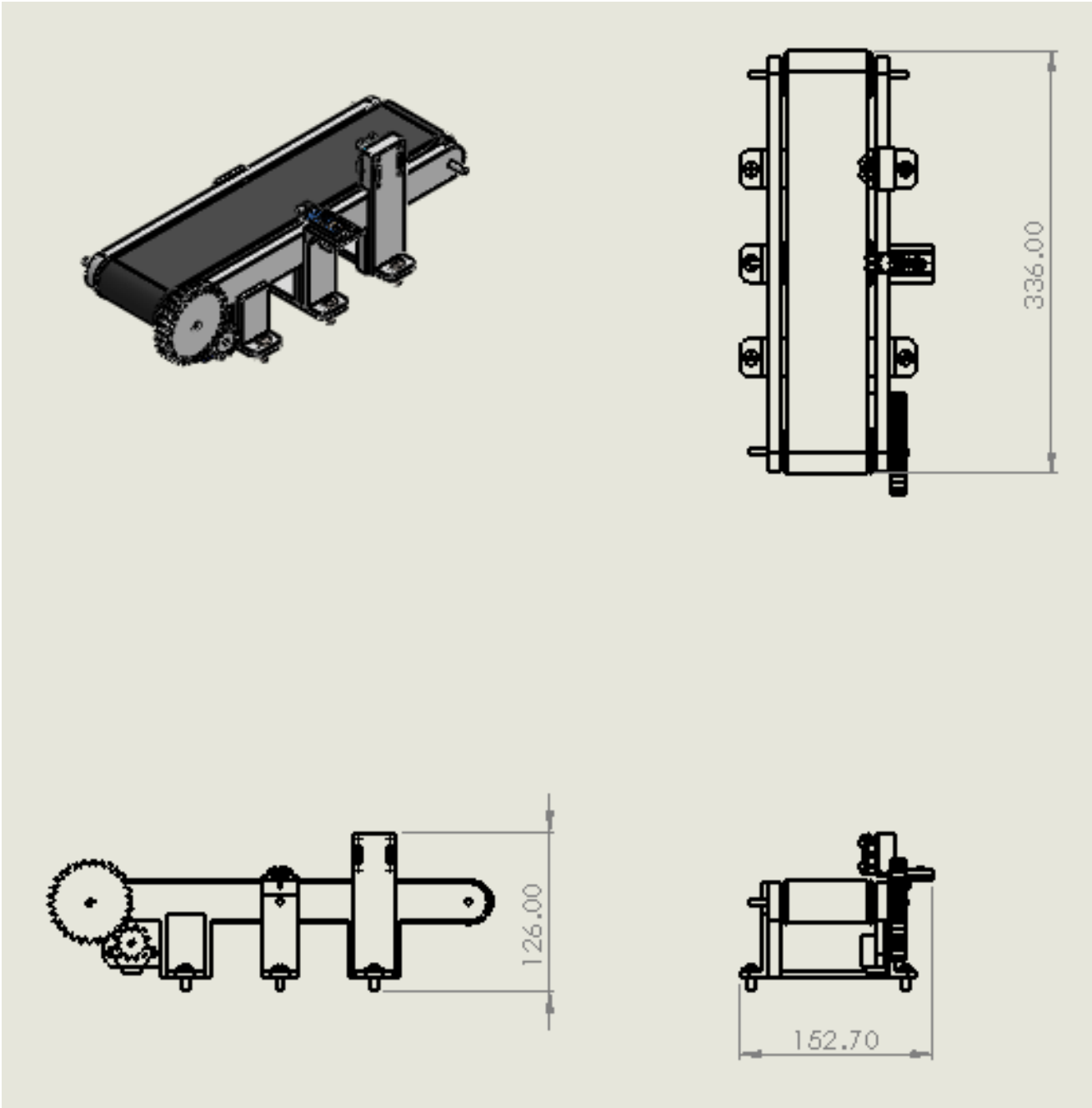


Figura 15 Plano Cinta Transportadora

f) *Diagrama P&ID*

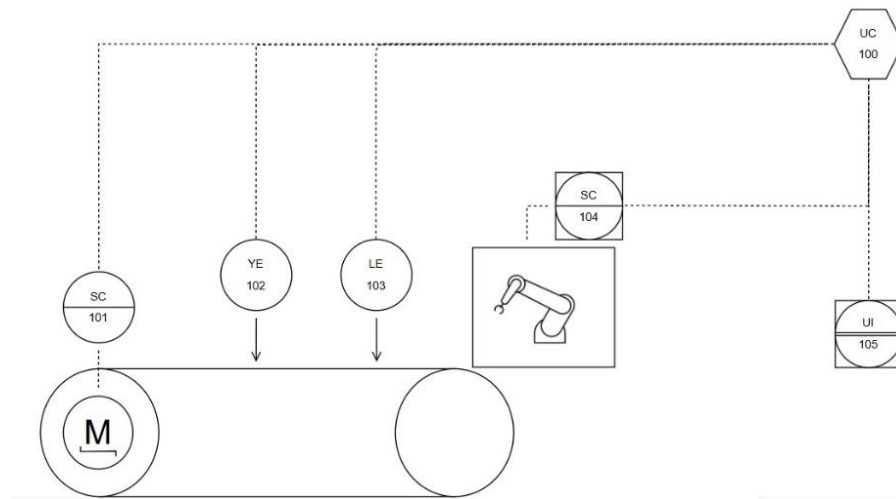


Figura 16 Diagrama P&ID del proyecto

g) *Diagrama Electrónico*

- Sensor Infrarrojo FC-51

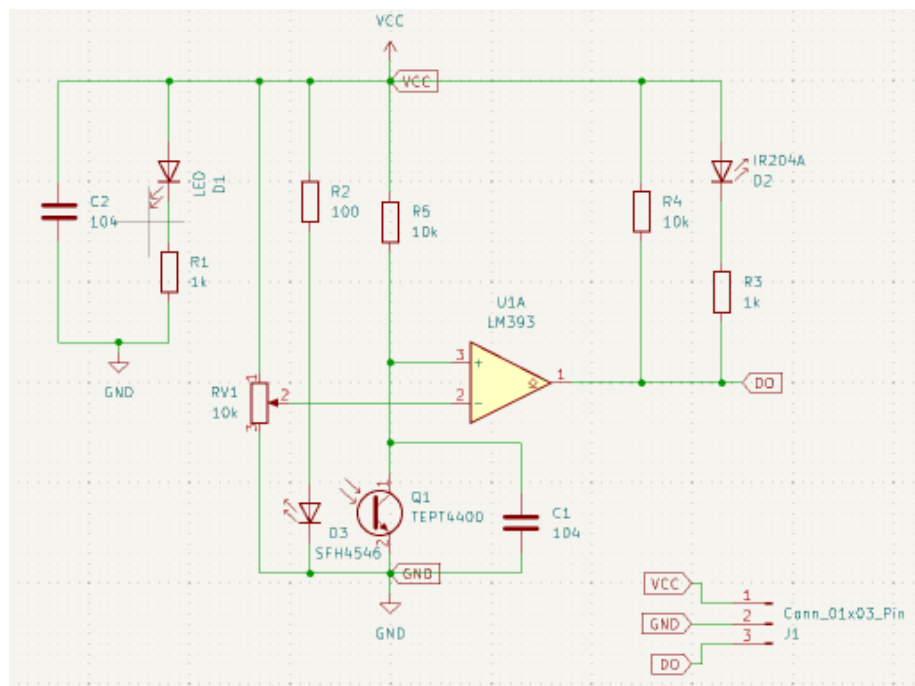


Figura 17 Esquemático FC-51

- Driver ULN2003

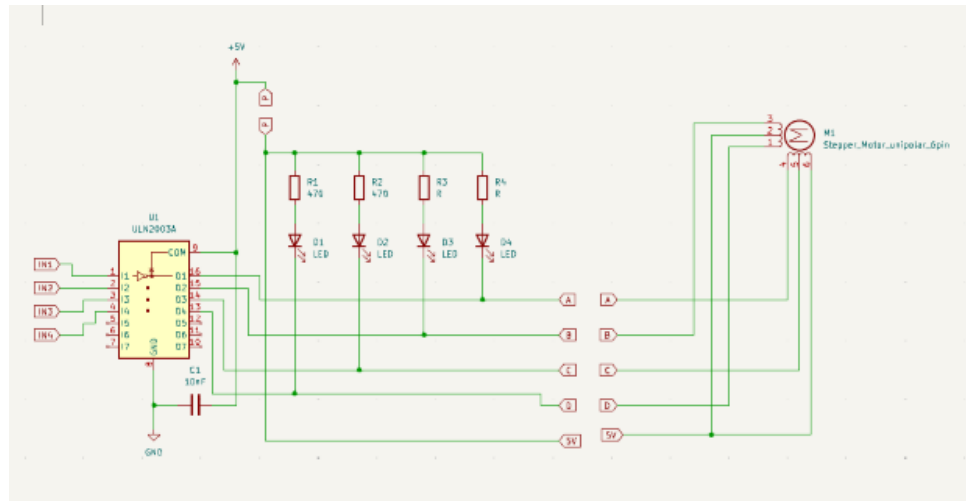


Figura 18 Esquemático ULN2003

- Módulo I2C

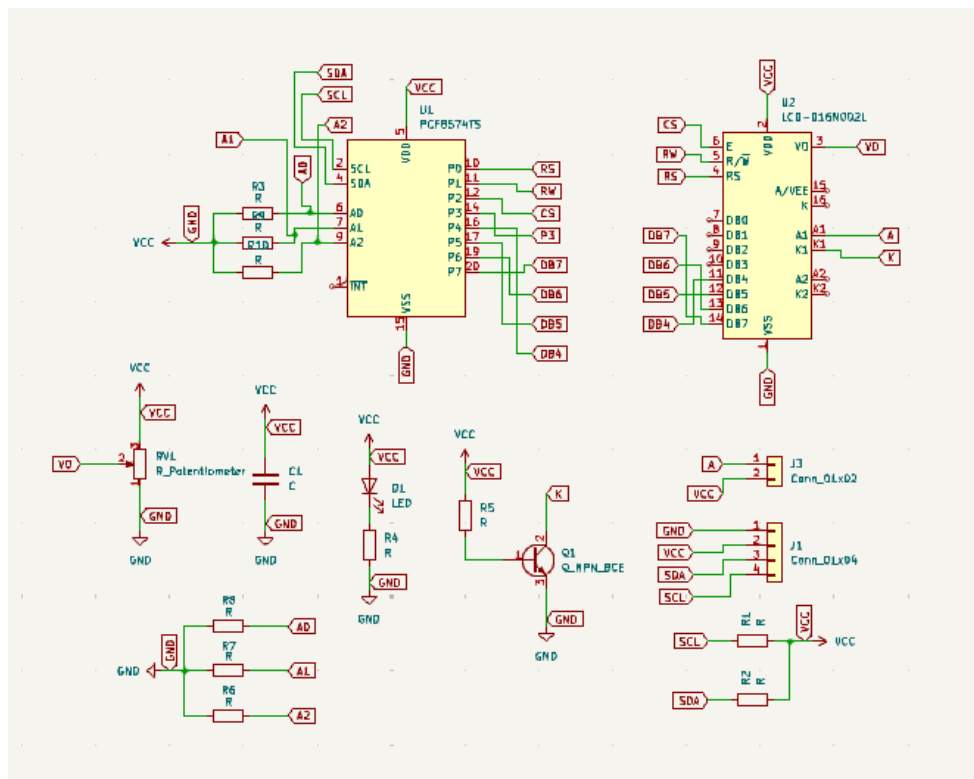


Figura 19 Esquemático del Módulo I2C

- Sensor de Color TCS3200

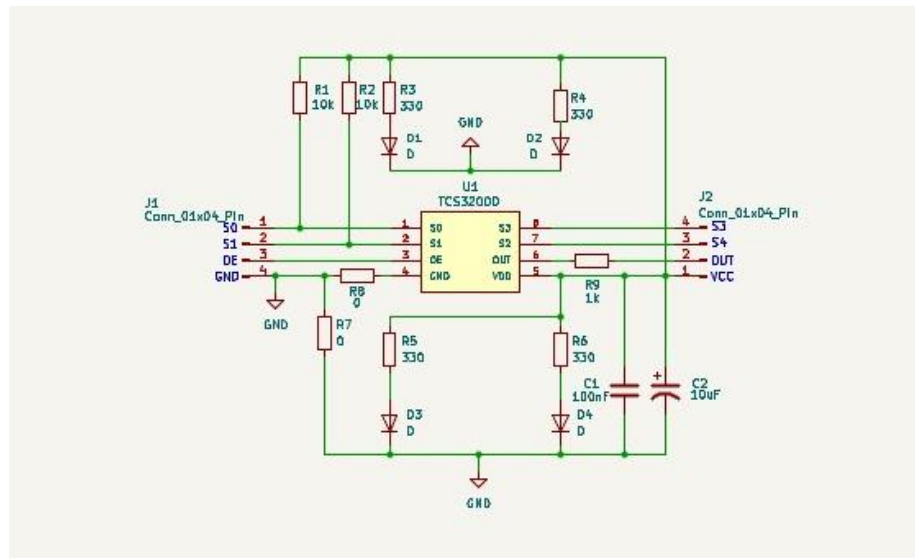


Figura 20 Esquemático TCS3200

- Esquematización General (Preliminar):

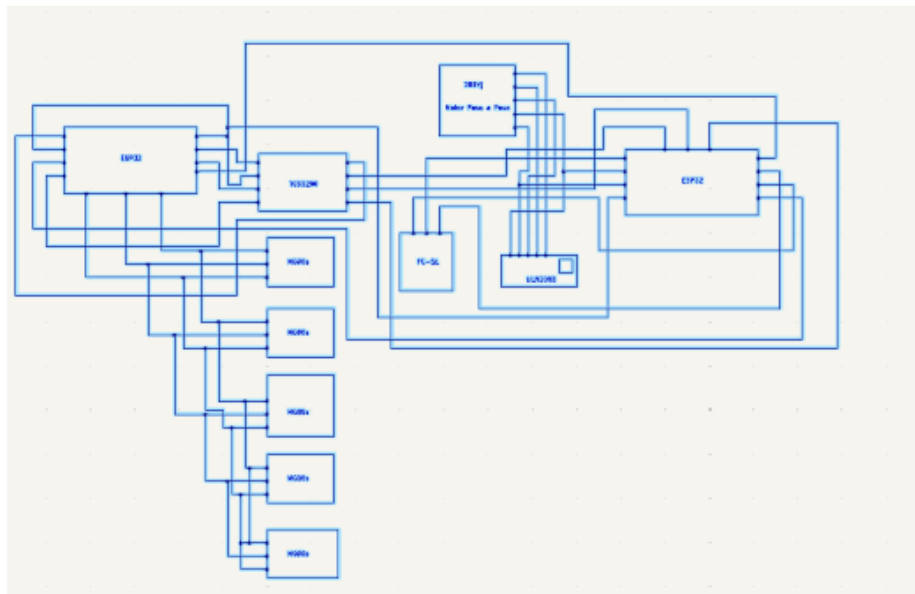


Figura 21 Esquemático General

*h) Diagrama PCB*

- Sensor Infrarrojo FC-51

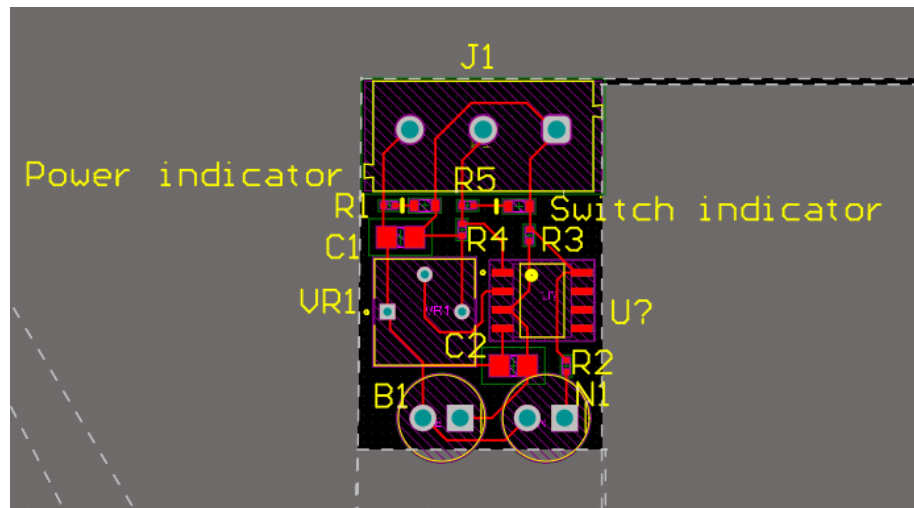


Figura 22 PCB FC-51

- Modulo ULN2003

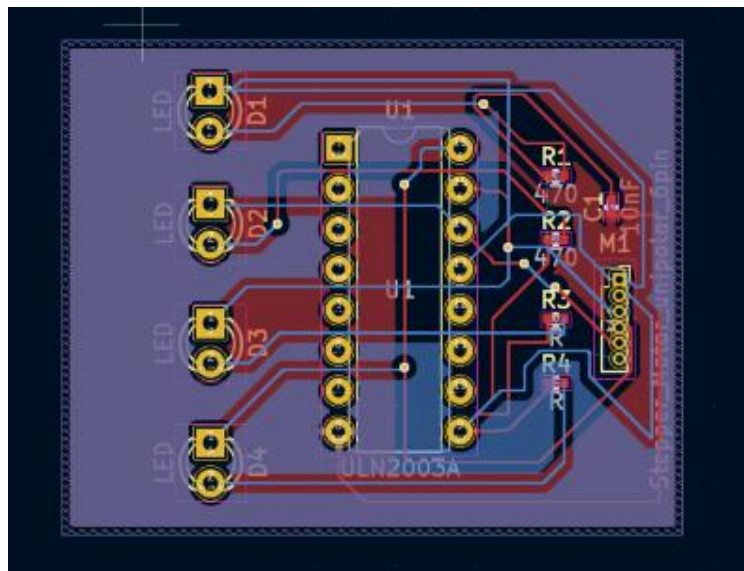


Figura 23 PCB ULN2003

- Pantalla LCD con I2C

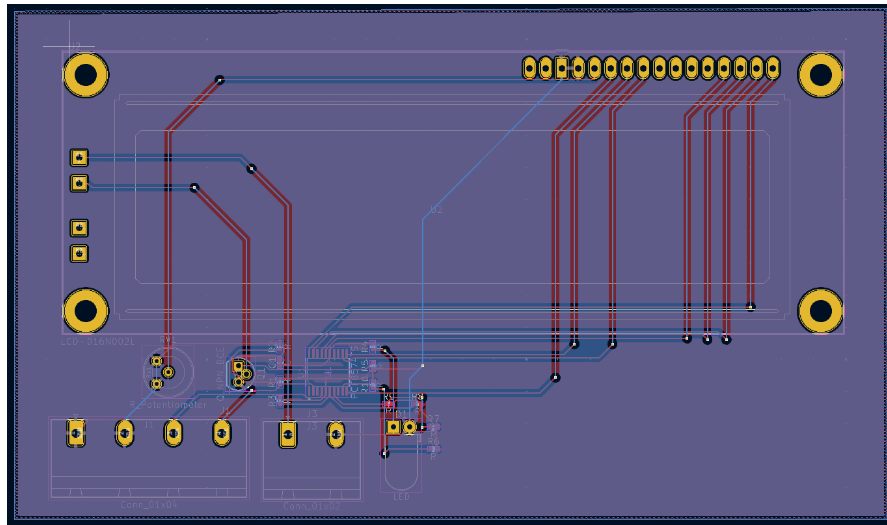


Figura 24 PCB LCD I2C

- Sensor TCS3200

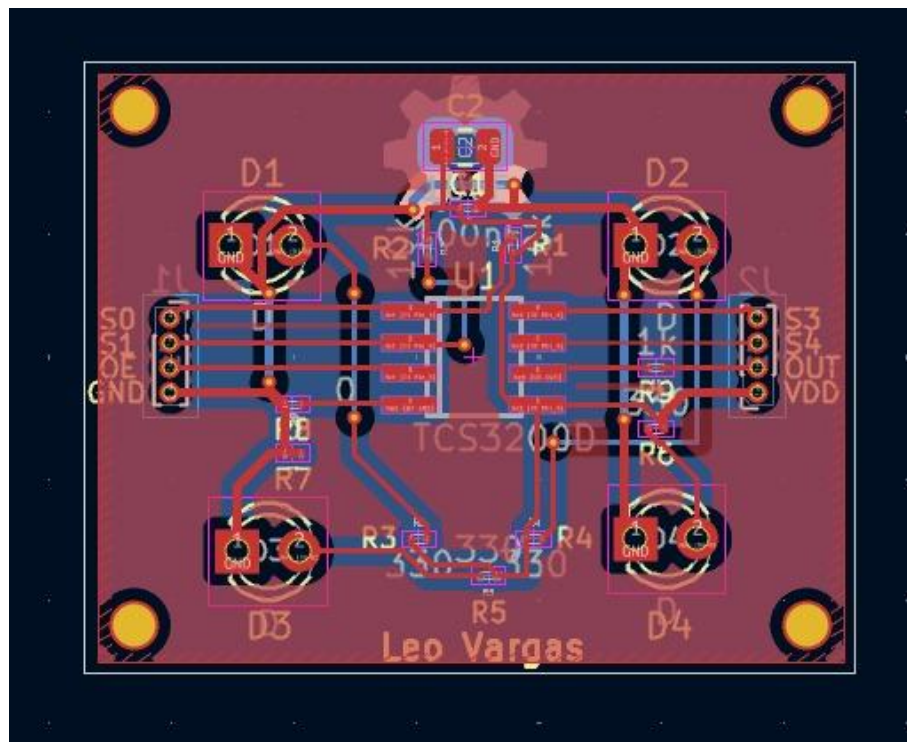
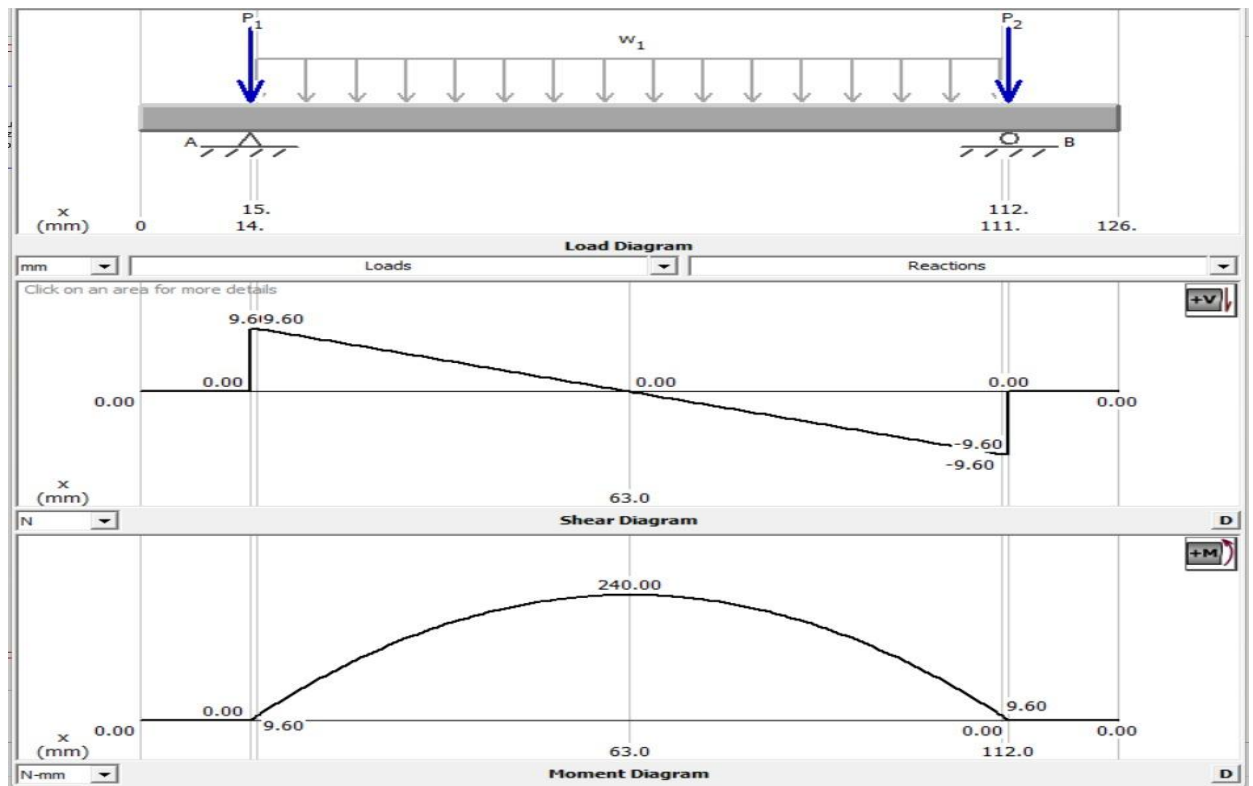


Figura 25 PCB TCS3200





En la parte del cálculo de fuerzas se sabe que las botellas impresas pesan alrededor de 7 gr. Donde al menos dos de ellas estarán presentes en la banda dando un peso de 14gr, sacando un factor de estimación se busca llegó a un peso de 20gr y haciendo una conversión. Se pudo obtener una fuerza de 0.14 N los cuales se encuentran distribuidos sobre todo el eje. Seguido de ello en las parades de los mismos ejes se toma en cuenta el peso de estas mismas dándonos un aproximado de 0.04 N, en cada lado. Ingresando todos estos datos al MDSolid nos da los momentos flexores máximos, donde se ingresará a la siguiente parte.



Formula para la Fatiga:

- Para el material de PLA:  $\sigma = 60 \text{ [MPa]}$  (Límite de Tensión)
- Estimación del límite de fatiga:  $S_e = 15 \text{ [MPa]}$  (valor conservador)
- Esfuerzo alternativo  $\sigma_{\text{var}} = 5 \text{ [MPa]}$  (Esfuerzo alternativo)
- $K_f = 1,5$  (Factor de concentración de esfuerzo efectivo)

$$n = \frac{S_e}{K_f \cdot \sigma_{\text{var}}} = \frac{15}{1,5 \cdot 5} = \frac{15}{7,5} \approx 2$$

Calculamos el momento Eléctico Máximo en:

$$A = 14 \text{ mm} \approx 1.4 \text{ cm}$$

$$B = 15 \text{ mm} \approx 1.5 \text{ cm}$$

$$C = 63 \text{ mm} \approx 6.3 \text{ cm}$$

$$D = 112 \text{ mm} \approx 11.2 \text{ cm}$$

$$E = 112 \text{ mm} \approx 11.2 \text{ cm}$$

$$\sum M_x = 0$$

$$R_o \cdot x - M_x = 0$$

$$M_x = R_o \cdot x$$

$$M_o = 9,64 \text{ KN} \cdot 0 = 0$$

$$M_{10} = 9,64 \text{ KN} \cdot 240 = 2313,6 \text{ [KN} \cdot \text{mm]}$$

Calculo Final

$$M_{10} = 240 \text{ [KN} \cdot \text{mm]}$$

Calculo del Esfuerzo Normal

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{var}} = K_f \frac{M \cdot c}{I} = K_f \cdot \frac{M \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi \cdot d^4}{64}} = K_f \cdot \frac{15(240 \text{ KN} \cdot \text{mm})}{\pi (25 \text{ mm})^3} = (1,5) \left( \frac{15(240)}{\pi (25)^3} \right)$$

$$\sigma_{\text{var}} = 0,509 \text{ [N/mm}^2] \rightarrow \sigma_{\text{var}} = \frac{509 \text{ N}}{\text{mm}^2} = \text{[MPa]}$$

Obtenido el Esfuerzo Normal mediante la fórmula dada, se llegó un factor de 0.509 KN/mm<sup>2</sup>. Este dato se usa para saber nuestro factor de seguridad de todo el proyecto. Donde viendo los límites a la fatiga, se llegó a un factor de seguridad de 2. Indicando que el eje si cuenta con las especificaciones técnicas necesarias.

Cálculo del número de ciclos de trabajo

$$a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S_e}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{f \cdot S_{ut}}{S_e} \right)$$

$$N = \left( \frac{\sigma_{inv}}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \rightarrow \text{Ciclos hasta llegar a la falla.}$$

Datos:

$$S_{ut} = 50 \text{ MPa}$$

$$f = 0,84$$

$$S_e = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{inv} = 20 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0,84 \cdot 50)^2}{15} = 127,6$$

$$b = \frac{1}{3} \log \left( \frac{f \cdot S_{ut}}{S_e} \right) = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{42}{15} \right) = -\frac{1}{3}$$

$$\log(2,8) \approx -0,149$$

$$N = \left( \frac{20}{127,6} \right)^{-\frac{1}{-0,149}} = (0,157)^{-6,71} \approx 1,17 \times 10^5 \text{ [ciclos]}$$

Factor de Seguridad

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

$$[S = S_e]$$

$$PLA \cdot S_{ut} = 60 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 20 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{60 \text{ MPa}}{20 \text{ MPa}} \rightarrow n = 3$$

En este apartado se buscó sacar el cálculo cinemático de los ejes. Donde se requiere de varios datos los cuales ya se obtuvieron del análisis estático. Donde se puede ver que nuestro factor de seguridad subió a 3. Indicando que el eje diseñado si cumple con los requisitos necesarios.

- Cálculos de Engranajes

*Calculo de Gte de Engranajes  
por cinta Transportadora*

Ejemplo 1: Pág 352

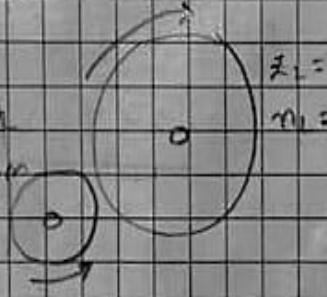
Relación de Transmisión:  $\frac{E_1}{E_2} = 82$

Rueda Conductora: 12

Rueda Conducida: 30

gira del motor: 15 rpm (Ejea)

- Velocidad de Rotación del Conducido



$z_1 = 12$   
 $n_1 = 15 \text{ rpm}$

$z_2 = 30$   
 $n_2 = ?$

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$$

$$n_2 = \frac{15 \text{ rpm} \cdot 12}{30} = 6 \text{ rpm}$$

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$$

$$n_2 = \frac{20 \text{ rpm} \cdot 12}{30} = 8 \text{ rpm}$$

$i = \frac{15}{6} = 2,5$

→ Relación de Transmisión

Se sabe que los engranajes tienen una relación de transmisión de acuerdo con el número de dientes o los diámetros de las ruedas dentadas. Teniendo los dientes de 30 y 12, se llegó a una relación de 2.5. En este caso lo que se plantea es reducir la velocidad del motor, para aumentar el torque.



*b) Cálculos Estructurales*

○ Banda Transportadora

▪ Tensiones:

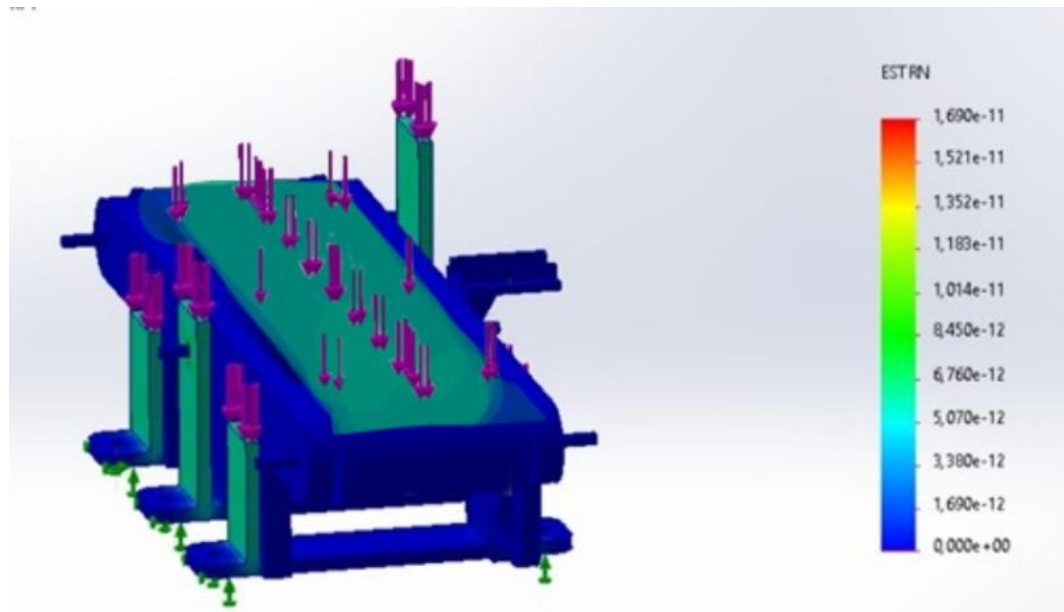


Figura 26 Análisis de tensiones

▪ Factor de Seguridad:

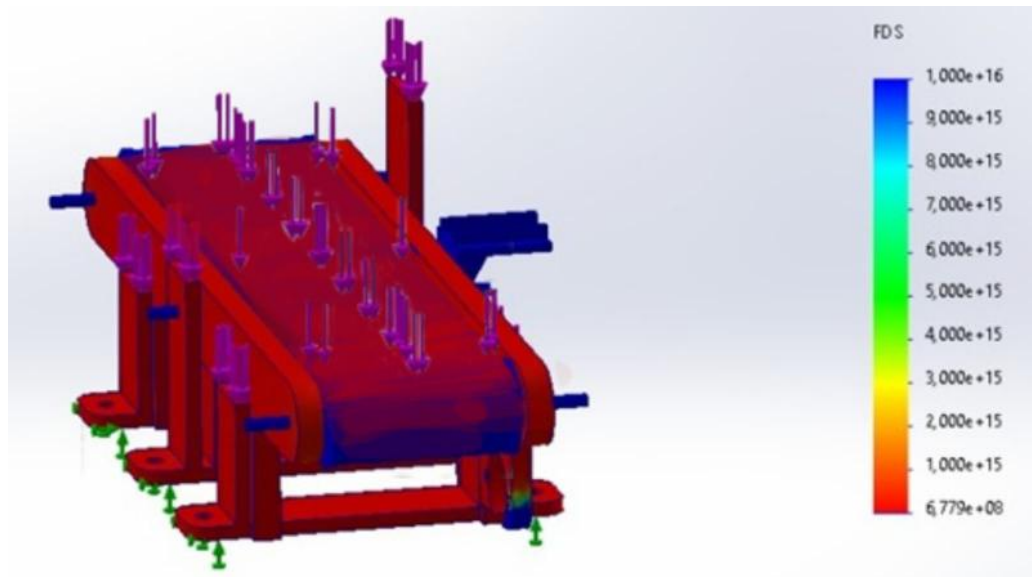


Figura 27 Análisis de Seguridad

- Desplazamiento:

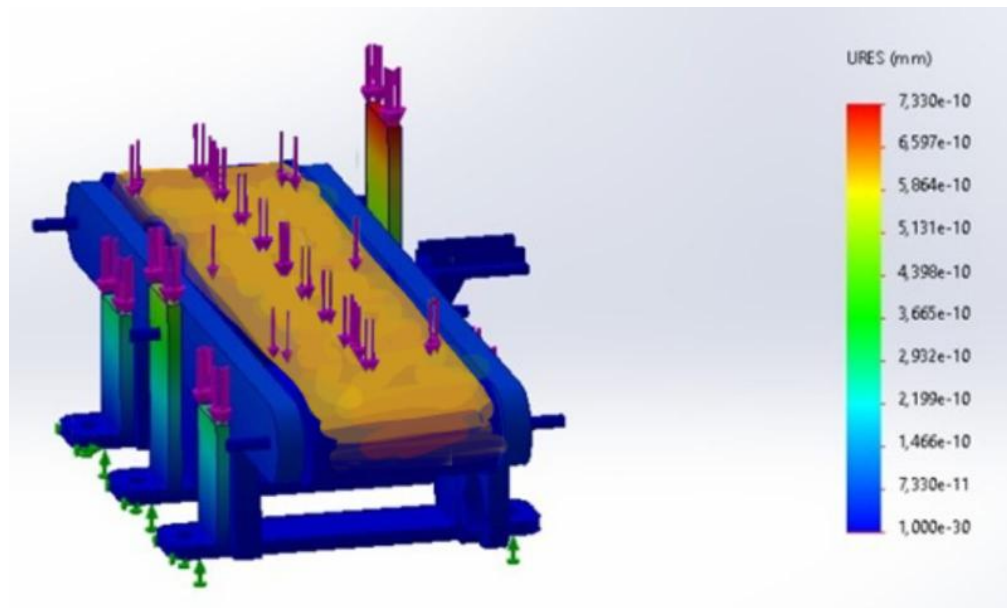


Figura 28 Análisis de Desplazamiento

- Deformaciones Unitarias:

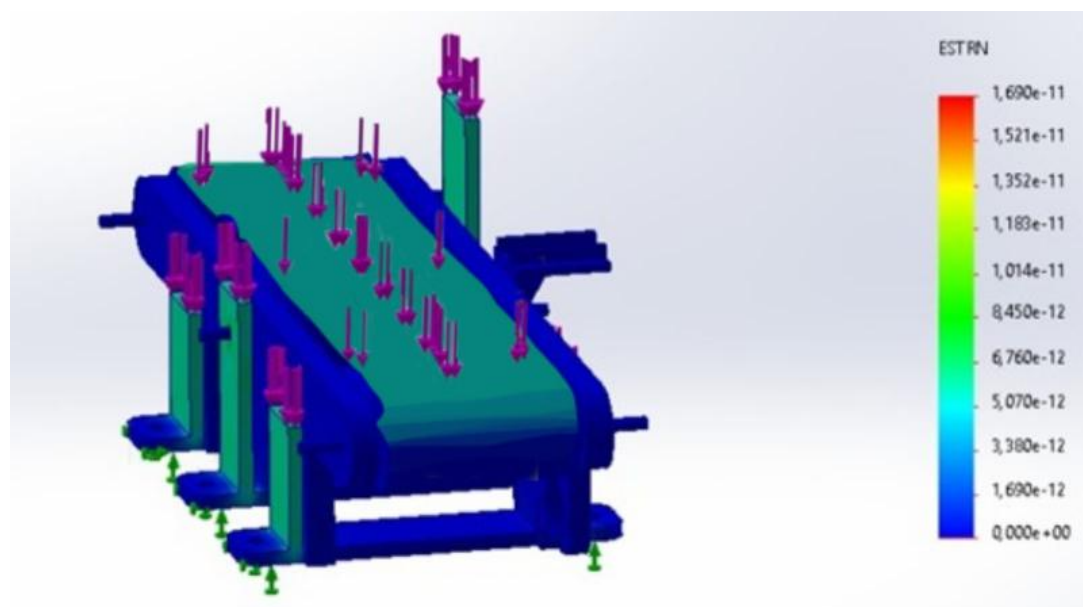


Figura 29 Análisis de Deformaciones Unitarias

- Brazo Robótico
  - Tensiones:

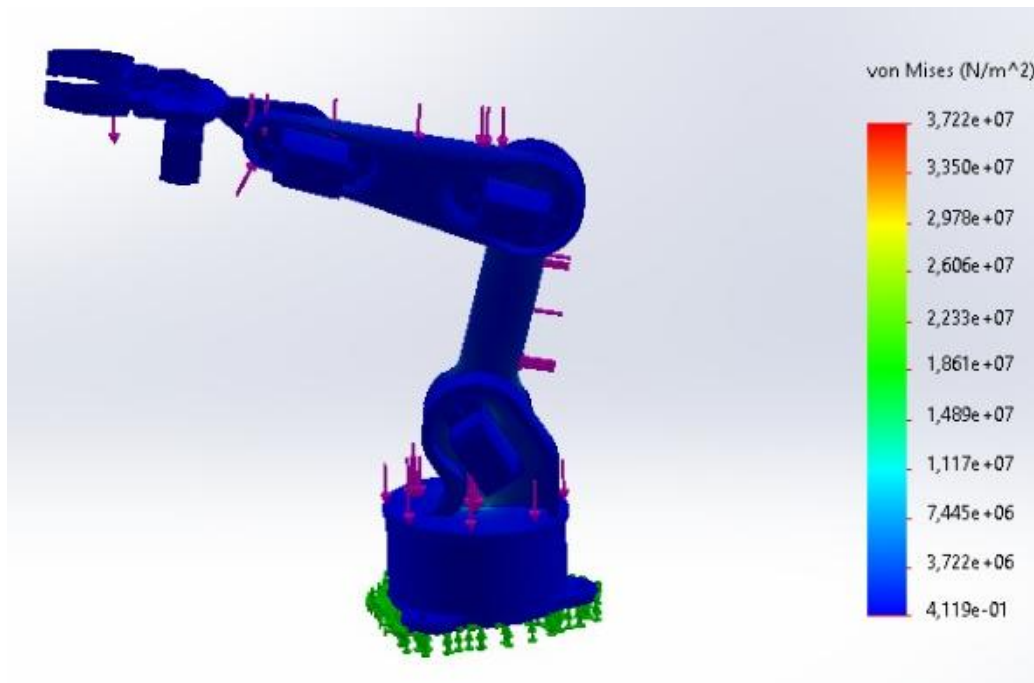


Figura 30 Análisis de Tensiones

- Factor de Seguridad:

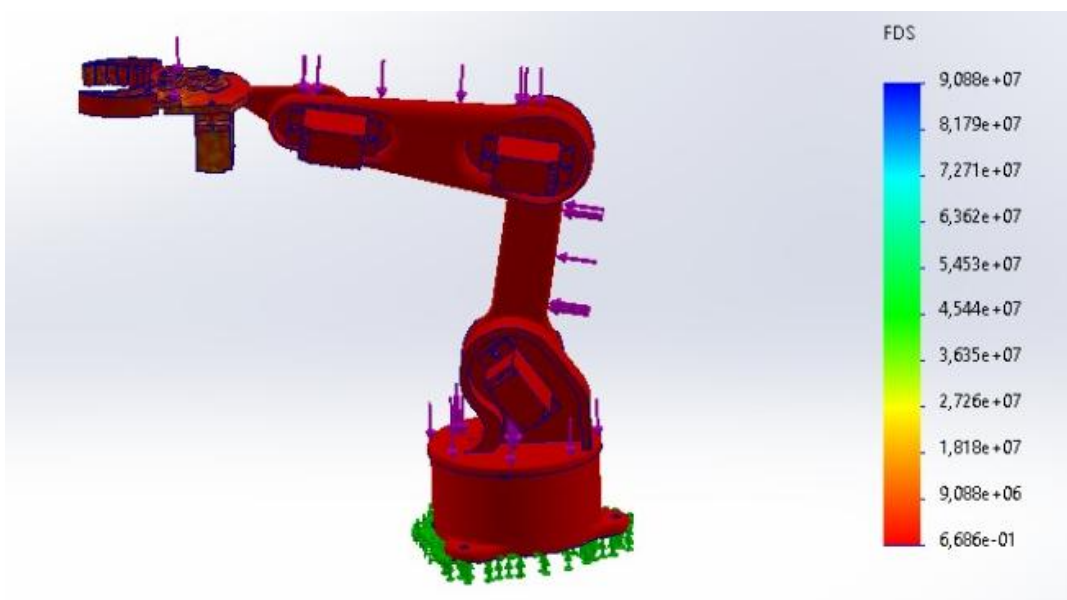


Figura 31 Análisis del Factor de Seguridad

Desplazamiento:

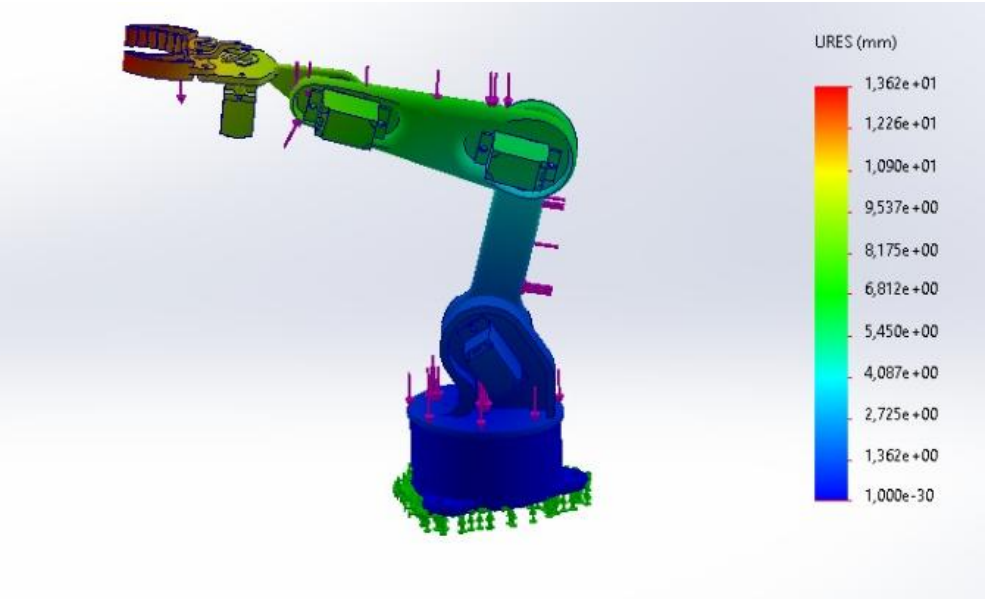


Figura 32 Análisis de Desplazamiento

Deformaciones Unitarias:

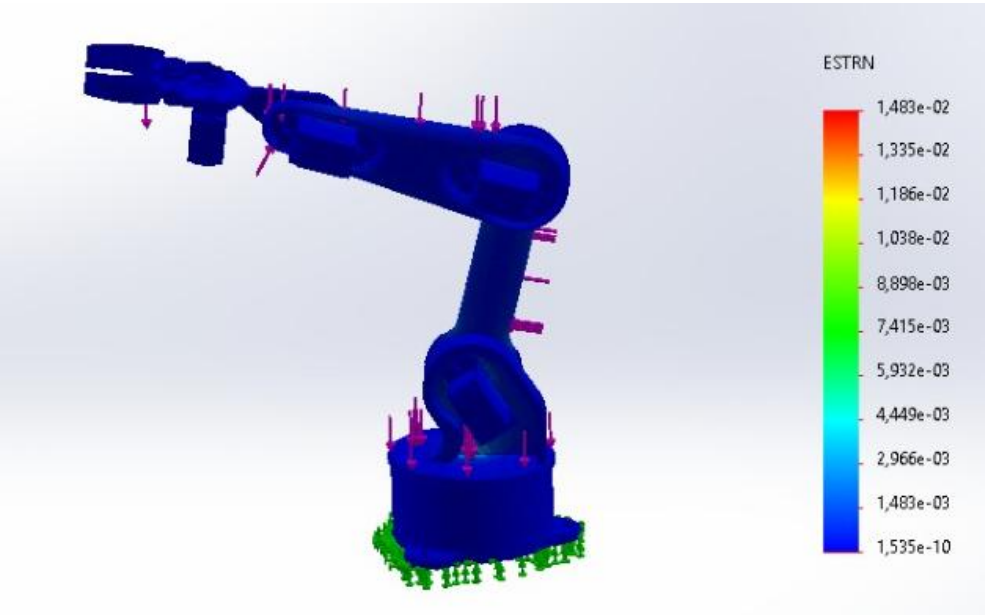


Figura 33 Análisis de Deformaciones Unitarias

## 2) Modelo Matemático del Brazo (Preliminar)

```

✓ [1] # Importar Librerías necesarias para el proyecto
11 s import numpy as np
import sympy as sp
import matplotlib.pyplot as plt

✓ [2] # Datos de los Eslabones en (mm)
0 s l1= 60.72
l2 = 77.1
l3 = 76.5
l4 = 38.9

✓ # Declarar mis variables
0 s # Angulos de Variación
th1, th2, th3, th4 = sp.symbols(' th1 th3 th3 th4 ')

# Variaciones de Velocidad Angular
w1, w2, w3, w4 = sp.symbols(' w1 w2 w3 w4 ')

# Declaro mis funciones trigonometricas
c = sp.cos
s = sp.sin

# Declaro mis Matrices de Denavit-Hartenberg
#Matriz del Primer eslabon

H01 = sp.Matrix([
    [c(th1), 0, s(th1), 0],
    [s(th1), 0, -c(th1), 0],
    [0, 1, 0, 0],
    [0, 0, 0, 1]
])

# Matriz del Segundo Eslabon

H12 = sp.Matrix([
    [c(th2), -s(th2), 0, l2*c(th2)],
    [s(th2), c(th2), 0, l2*s(th2)],
    [0, 0, 1, 0],
    [0, 0, 0, 1]
])

# Matriz del Tercer Eslabon

H23 = sp.Matrix([
    [c(th3), -s(th3), 0, l3*c(th3)],
    [s(th3), c(th3), 0, l3*s(th3)],
    [0, 0, 1, 0],
    [0, 0, 0, 1]
])

# Matriz del Cuarto Eslabon

H34 = sp.Matrix([
    [c(th4), -s(th4), 0, l4*c(th4)],
    [s(th4), c(th4), 0, l4 * s(th4)],
    [0, 0, 1, 0],
    [0, 0, 0, 1]
])

```



```
[6] # Matriz Homogenea de todo el robot es:
H04 = H01*H12*H23*H34
H04


$$\begin{bmatrix} (-\sin^2(th_3)\cos(th_1) + \cos(th_1)\cos^2(th_3))\cos(th_4) - 2\sin(th_3)\sin(th_4)\cos(th_1)\cos(th_3) & -(-\sin^2(th_3)\cos(th_1) + \cos(th_1)\cos^2(th_3))\sin(th_4) - 2\sin(th_3)\cos(th_4)\cos(th_1)\sin(th_3) \\ (-\sin(th_1)\sin^2(th_3) + \sin(th_1)\cos^2(th_3))\cos(th_4) - 2\sin(th_1)\sin(th_3)\sin(th_4)\cos(th_3) & -(-\sin(th_1)\sin^2(th_3) + \sin(th_1)\cos^2(th_3))\sin(th_4) - 2\sin(th_1)\cos(th_4)\sin(th_3)\sin(th_1) \\ (-\sin^2(th_3) + \cos^2(th_3))\sin(th_4) + 2\sin(th_3)\cos(th_3)\cos(th_4) & (-\sin^2(th_3) + \cos^2(th_3))\cos(th_4) \end{bmatrix}$$


# Matriz de Cineamtica Directa
# Posición final (última columna)
[x, y, z] = H04[:3, 3]

[8] # Matrices para sacar bien las posiciones en z
H02 = H01 * H12
H03 = H02 * H23

[9] # Ejes de rotación (columna 3 de cada matriz)
z0 = sp.Matrix([0, 0, 1])
z1 = H01[:3, 2]
z2 = H02[:3, 2]
z3 = H03[:3, 2]

# Posiciones de cada sistema
o0 = sp.Matrix([0, 0, 0])
o1 = H01[:3, 3]
o2 = H02[:3, 3]
o3 = H03[:3, 3]
o4 = H04[:3, 3] # posición final del efector

[10] # Jacobiano lineal
Jv = sp.Matrix.hstack(
    z0.cross(o4 - o0),
    z1.cross(o4 - o1),
    z2.cross(o4 - o2),
    z3.cross(o4 - o3)
)
```

```
[10] # Jacobiano lineal
Jv = sp.Matrix.hstack(
    z0.cross(o4 - o0),
    z1.cross(o4 - o1),
    z2.cross(o4 - o2),
    z3.cross(o4 - o3)
)

# Jacobiano angular
Jw = sp.Matrix.hstack(z0, z1, z2, z3)

# Jacobiano total
J = sp.Matrix.vstack(Jv, Jw)

[11] w = sp.Matrix([w1, w2, w3, w4])

[12] vel_total = J * w
sp.pprint(vel_total)

Mostrar el resultado oculto

subs_dict = {
    th1: 0, th2: 0, th3: 0, th4: 0,
    w1: 1, w2: 0, w3: 0, w4: 0,
    l2: 77.1, l3: 76.5, l4: 38.9
}
vel_total.evalf(subs=subs_dict)


$$\begin{bmatrix} 0 \\ 192.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \ 0 \end{bmatrix}$$

```

Como se mencionó al inicio, el código desarrollado en Google Colab corresponde a un modelo preliminar del brazo robótico, el cual se encuentra en una etapa inicial de implementación. Actualmente, se han definido las matrices de transformación homogénea para cada eslabón del brazo, permitiendo construir tanto el modelo cinemático directo como el modelo cinemático inverso.

Posteriormente, se aplicó la derivación correspondiente para obtener el modelo de velocidades lineales y angulares, necesarias para el análisis dinámico futuro. Todo el desarrollo ha sido estructurado mediante funciones reutilizables, de modo que, al ingresar los parámetros adecuados, se pueden obtener los resultados deseados de forma directa.

Este entorno de trabajo sienta las bases para futuras ampliaciones, como la integración de modelos dinámicos completos, análisis de trayectorias y simulaciones más precisas del comportamiento del sistema robótico.

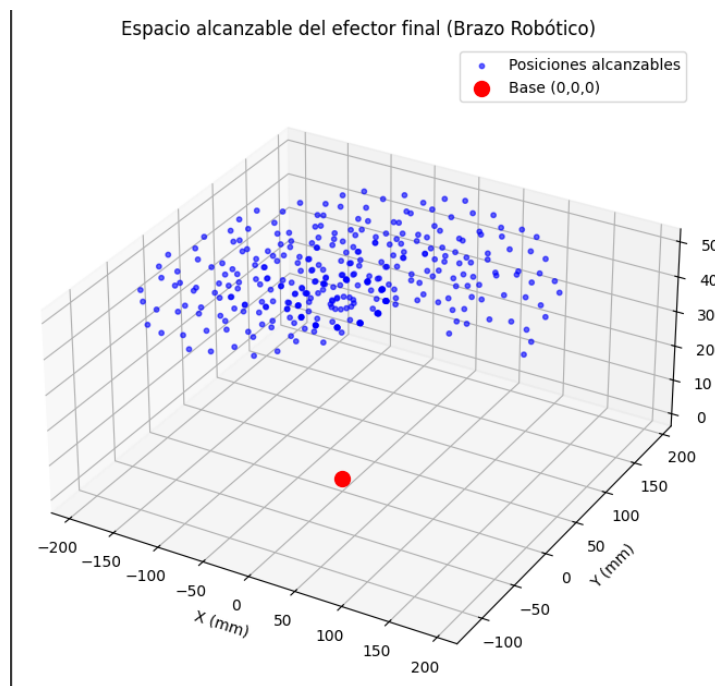


Figura 34 Posiciones Alcanzables del Brazo Robótico

En esta gráfica se puede observar el espacio de trabajo del efector final del brazo robótico. Debido a que el primer eslabón solo permite una rotación en un rango limitado de 0 a 180 grados, el brazo no puede cubrir todo el entorno circular a su alrededor. Esta restricción reduce su alcance efectivo a únicamente la mitad del área que podría cubrir si tuviera un movimiento completo de 360 grados.

Esta limitación puede ser aceptable en aplicaciones donde el área de trabajo esté orientada hacia un solo lado, pero debe considerarse si se desea escalar el sistema o utilizarlo en entornos industriales más complejos.

### 3) Filtros

#### Cálculo del Filtro FIR

Un filtro FIR de orden 4 (5 coeficientes) de promedio móvil:

$$h[k] = \frac{1}{5}, \quad k = 0,1,2,3,4,5$$

**Expresión general:**

$$y[n] = \sum_{k=0}^4 \frac{1}{5} * x[n - k]$$

#### Datos de Frecuencia:

- Rojo: 1200 Hz, 1220 Hz, 1195 Hz, 1210 Hz, 1205 Hz
- Verde: 1300 Hz, 1280 Hz, 1290 Hz, 1275 Hz, 1285 Hz
- Azul: 1400 Hz, 1410 Hz, 1395 Hz, 1405 Hz, 1400 Hz

#### Cálculo Manual:

$$\text{Rojo Filtrado} = \frac{1200+1220+1195+1210+1205}{5} = 1206 [Hz]$$

$$\text{Verde Filtrado} = \frac{1300+1280+1290+1275+1285}{5} = 1286 [Hz]$$

$$\text{Azul Filtrado} = \frac{1400+1410+1395+1405+1400}{5} = 1402 [Hz]$$

#### Resultado Esperado:

- Rojo filtrado: 1206 Hz
- Verde filtrado: 1286 Hz
- Azul filtrado: 1402 Hz

4) Prototipado

Ajustes de impresión

Perfil

Low Quality - 0.28mm

Buscar ajustes

Calidad

Paredes

Superior o inferior

Relleno

Material

Velocidad

Desplazamiento

Refrigeración

Calidad

Altura de capa

Altura de capa inicial

Ancho de línea

Ancho de línea de pared

Ancho de línea de la pared exterior

Ancho de línea de pared(es) interna(s)

Ancho de línea superior/inferior

Ancho de línea de relleno

Ancho de línea de falda/borde

Ancho de línea de la capa inicial

Paredes

Recomendado

Recomendado

Relleno

Densidad de relleno

Distancia de línea de relleno

Patrón de relleno

Conectar líneas de relleno

Direcciones de línea de relleno

Desplazamiento del relleno sobre el eje X

Desplazamiento del relleno sobre el eje Y

Comienzo de relleno aleatorio

Multiplicador de línea de relleno

Porcentaje de superposición del relleno

Superposición del relleno

Distancia de pasada de relleno

Grosor de la capa de relleno

Pasos de relleno necesarios

Relleno antes que las paredes

Área de relleno mínima

Soporte de relleno

Espesor de soporte de los bordes del forro

Capas de soporte de los bordes del forro

Material

Velocidad

Desplazamiento

Refrigeración

Recomendado

Recomendado

Desplazamiento

<

Refrigeración

>

Activar refrigeración de impresión

☒

Velocidad del ventilador

$f_x$

100.0

%

Velocidad normal del ventilador

100.0

%

Velocidad máxima del ventilador

100.0

%

Umbral de velocidad normal/máxima del ventilador

10.0

s

Velocidad inicial del ventilador

0.0

%

Velocidad normal del ventilador a altura

0.84

mm

Velocidad normal del ventilador por capa

4

Tiempo mínimo de capa

10.0

s

Velocidad mínima

10.0

mm/s

<

 Recomendado

Material

>

Temperatura de impresión

200.0

°C

Temperatura de impresión de la capa inicial

200.0

°C

Temperatura de impresión inicial

200.0

°C

Temperatura de impresión final

200.0

°C

Temperatura de la placa de impresión

60

°C

Temperatura de la placa de impresión en la capa inicial

60

°C

Factor de escala para la compensación de la contracción

100.0

%

Factor de escala horizontal para la compensación de la contracción

100.0

%

Factor de escala vertical para la compensación de la contracción

100.0

%

Flujo

100.0

%

<

 Recomendado

Flujo de pared

100.0

%

Flujo de pared exterior

100.0

%

Flujo de pared o paredes interiores

100.0

%

Flujo superior o inferior

100.0

%

Flujo de relleno

100.0

%

Flujo de falda/borde

100.0

%

Flujo de la torre auxiliar

100.0

%

Flujo de capa inicial

100.0

%

Flujo de pared interior de la capa inicial

100.0

%

Flujo de pared exterior de la capa inicial

100.0

%

Flujo inferior de la capa inicial

100.0

%

Velocidad

<

Durante la etapa de prototipado del sistema, se utilizó impresión 3D mediante tecnología FDM (Fabricación por Deposición Fundida), haciendo uso del software Ultimaker Cura como entorno de configuración. Esta herramienta permitió ajustar los parámetros de impresión según las necesidades del proyecto, priorizando la rapidez, funcionalidad y bajo consumo de recursos.

Se optó por una configuración predeterminada “Low Quality” la cual permite imprimir con mucha más rapidez, esto resulta ideal para etapas de validación rápida. Aunque esta opción no ofrece el mejor acabado visual, fue suficiente para piezas funcionales no estéticas, permitiendo comprobar la geometría, el ensamblaje y la interacción entre componentes del sistema.

El material utilizado fue PLA (Ácido Poliláctico), seleccionado por su bajo costo, facilidad de impresión y buena disponibilidad en el mercado local. Además, su rigidez es adecuada para

prototipos que no están sometidos a esfuerzos intensos. También se valoró el hecho de que el PLA es biodegradable, lo cual mantiene coherencia con el enfoque ambiental del proyecto.

Para las piezas que requerían soporte estructural, se eligieron soportes de tipo “árbol”, ya que brindan estabilidad suficiente durante la impresión y, al mismo tiempo, son fáciles de remover, reduciendo el tiempo de post-procesamiento y evitando daños en las superficies de las piezas.

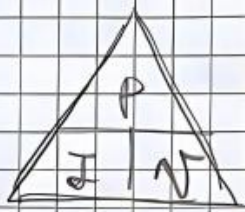
También se ajustó un poco la temperatura de impresión, tanto del cabezal como de la base, para adaptarse mejor al clima del lugar. Esto ayudó a que las piezas se pegaran bien desde el inicio y no se deformaran mientras se imprimían.

### 5) Electrónico

- Cálculo de los Cables

Cálculo de Cables

1. Corriente Disponible
2. La distancia de Instalación
3. Tipo de Carga
4. Tipo de cables

$$P = I \cdot V$$


1. Paso a Paso  $\rightarrow 0,46 [W]$   
 2. Sensor de Color  $\rightarrow 0,045 [W]$   
 3. Teclado  $\rightarrow 0,10 [W]$   
 4. Servomotores  $\rightarrow 2,04 [W] \times 4 = 8,04 [W]$

Total =  $0,775 [W]$  (1)

Total =  $8,04 [W]$  (2)

(1)  $0,775 [W] / 12 [V] = 0,064 [A] \rightarrow$  cable de cobre 26 AWG  
 (2)  $8,04 [W] / 5 [V] = 1,608 [A] \rightarrow$  cable de cobre 22 AWG

Para obtener los datos de los diámetros de los cables, se vio el consumo en potencia de todos los componentes que se ubican en el proceso y con esto se obtuvo un cable con calibre de 26AWG y 22AWG.

6) PCB

Para el diseño y dimensionamiento de las pistas de la PCB se utilizaron herramientas CAD como Altium Designer y KiCad, las cuales permitieron aplicar reglas de diseño “DRC” para definir el ancho y separación de rutas según los requerimientos eléctricos del circuito. Se dimensionaron las pistas considerando la corriente esperada en cada sección (alimentación, señal, tierra), utilizando calculadoras basadas en el estándar IPC-2221. Se emplearon pistas más anchas para líneas de alimentación y masa, y más delgadas para señales lógicas, garantizando así un diseño seguro y funcional en una PCB de hasta dos capas.

	A	B	C
1	Corriente (A)	Ancho mínimo de pista (mm)	Uso recomendado
2	0.1 – 0.3 A	0.25 mm	Señales lógicas (I2C, UART)
3	0.3 – 0.5 A	0.30 mm	GPIO, comunicación SPI
4	0.5 – 1.0 A	0.50 mm	Alimentación de módulos
5	1.0 – 2.0 A	0.80 mm	VCC/GND principales
6	2.0 – 3.0 A	1.20 mm	Líneas de potencia

Tabla 10 Datos estandarizados de la PCB

## 7) Alimentación

DIMENSIONAMIENTO DEL CONSUMO					
Componentes	Voltaje de operación (V)	Consumo típico (mA)	Consumo máximo estimado (mA)	Cantidad	Consumo total (mA)
ESP32-S3	3.3	160	240	2	480
Servomotor MG90S	4.8 – 6.0	200	300	5	1500
Motor paso a paso 28BYJ-48	5	240	300	1	300
Driver ULN2003	5	10	50	1	50
Sensor de color TCS3200	3.3 / 5.0	20	60	1	60
Sensor IR FC-51	3.3 / 5.0	10	20	1	20
<b>TOTAL, ESTIMADO</b>	-	-	-	-	<b>2410 mA (2.41 A)</b>

Tabla 11 Cálculo de alimentación

Según la tabla de estimación de consumo eléctrico, el prototipo tendrá un consumo máximo aproximado de 2.41(A). Debido a esta demanda de corriente, no es viable alimentar el sistema únicamente desde una fuente interna o del microcontrolador, ya que podría sobrecargarse.

Por esta razón, se requiere un sistema de alimentación externa que proporcione la energía necesaria de forma estable y segura para todos los componentes del proyecto. Esta fuente deberá contar con una salida de voltaje adecuada de 5V y 3.3V, y una capacidad de corriente igual o superior al consumo máximo estimado, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema en todo momento.



## V. RESULTADOS

### A. Resultados

- El sistema fue capaz de detectar la presencia de un objeto, identificar su color (rojo, verde o azul) y clasificarlo automáticamente mediante el movimiento del brazo robótico hacia el compartimiento correspondiente.
- En condiciones óptimas de iluminación, se obtuvo una precisión de clasificación del 85%, mientras que en condiciones de baja luz, esta bajó al 70%, evidenciando la sensibilidad del sensor al entorno lumínico.
- La estructura del prototipo se mantuvo estable durante el funcionamiento, gracias al uso de materiales adecuados y un diseño mecánico correcto.
- El brazo robótico cumplió con las trayectorias planificadas, aunque se observó una limitación en el alcance angular, ya que el movimiento de la base solo cubre un rango de 0 a 180°, restringiendo el área de trabajo del efector final.
- Durante la fase de pruebas, se identificaron algunos inconvenientes menores relacionados con la calibración del sensor de color y el control del servomotor. Sin embargo, estos fueron corregidos rápidamente aplicando el filtrado de señales. El sistema demostró un desempeño aceptable, cumpliendo con los estándares básicos definidos al inicio del proyecto (detección y separación de botellas por color).
- Se realizaron pruebas de estrés del sistema, evaluando la precisión en la clasificación de botellas en distintas condiciones de iluminación y velocidad de la cinta. El rendimiento alcanzó una efectividad del 85% en condiciones óptimas y del 70% en condiciones de iluminación baja, lo cual permitió hacer ajustes en el posicionamiento del sensor.

### B. Conclusiones

- Se comprobó que la automatización del proceso de clasificación no solo reduce el tiempo requerido por operador, sino que también disminuye el riesgo de accidentes laborales, lo cual contribuye a un entorno de trabajo más seguro.
- Se concluyó que las aplicaciones de simulaciones ayudan mucho al desarrollo del proyecto, esto viendo, previniendo errores a futuro, y al mismo tiempo modelando las piezas para poder construir las al final.

- A pesar del éxito del prototipo, se identificaron áreas de mejora importantes, especialmente en la estabilidad del reconocimiento de color y la ampliación del rango de trabajo del brazo.

### *C. Recomendaciones*

- Si bien el sensor TCS3200 cumple su función, su precisión se ve afectada en condiciones de baja iluminación. Se recomienda implementar un sistema de calibración automática o utilizar sensores más avanzados con filtros integrados para mejorar la exactitud del reconocimiento cromático.
- El sistema debería contar con protección ante factores externos como humedad, polvo o vibraciones. Para esto, se sugiere diseñar una carcasa protectora o encapsular los sensores más delicados.
- Diseñar una carcasa protectora para los componentes electrónicos, especialmente sensores y microcontroladores, con el fin de evitar fallas por humedad, polvo o impactos.
- Incorporar una memoria SD o conexión a una base de datos permitiría registrar el número de botellas clasificadas por tipo, errores detectados y eficiencia general. Esta información sería útil para análisis posteriores o validación industrial.

## VI. REFERENCIAS

- [1] O. D. Valzco, Diseño y Construcción de Estación de Clasificación Automática, Casuca - Colombia: Machine Vision, 2013.
- [2] M. F. M. Pérez, Etapa de identificación y clasificación de botellas de PET, en máquina prototipo separador de botellas, Mexico, 2020 .
- [3] L. A. L. López, Sistema mecatrónico de banda transportadora usando impresión 3D para la emulación de procesos industriales, Colombia-Cali, 2022.
- [4] N. N. J. ISMAEL, AUTOMATIZACIÓN DE UNA CINTA TRANSPORTADORA PARA LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES SEGUN PESO O TAMAÑO, BOLIVIA - Cochabamba, 2024.

---

## ANEXOS

### Miro

[https://miro.com/welcomeonboard/d0VZcmZudFMzZWpQcWEzdktvRURLLyt3S0JqNmh0eW42eG4rVFZpNjY4WE45VXlob2RSbkg0ZnJvMUZ0WkZwZ1l1a0p6cnJ4ZUxXSEQzOUcyZ0hEZEpRdkh0ZFRiOXVka1VaZ0I4dDF0Zm1ydXA1WXZ1WS92SnQ2WW1uN2k1aTBnbHpza3F6REdEcmNpNEFOMmJXWXBBPT0hdjE=?share\\_link\\_id=140537677327](https://miro.com/welcomeonboard/d0VZcmZudFMzZWpQcWEzdktvRURLLyt3S0JqNmh0eW42eG4rVFZpNjY4WE45VXlob2RSbkg0ZnJvMUZ0WkZwZ1l1a0p6cnJ4ZUxXSEQzOUcyZ0hEZEpRdkh0ZFRiOXVka1VaZ0I4dDF0Zm1ydXA1WXZ1WS92SnQ2WW1uN2k1aTBnbHpza3F6REdEcmNpNEFOMmJXWXBBPT0hdjE=?share_link_id=140537677327)

### Formulario

<https://forms.gle/agBcHq2ziUJrA7fN7>

### Drive

[https://drive.google.com/drive/folders/1f7mmO3LOPDSBSi\\_uL6BorWe6adDavS6?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1f7mmO3LOPDSBSi_uL6BorWe6adDavS6?usp=sharing)

### Excel

[Avances de Proyecto.xlsx](#)