



ING. MECATRÓNICA

**Tesis previa a la obtención del título
de Ingeniero en Mecatrónica.**

AUTOR: José Jahir Changuan Echeverría

TUTOR: MSc. Cristina Giselle Oscullo Naranjo

Diseño y Construcción de un prototipo de un
clasificador de tapas plásticas para la empresa
SICAL Ingeniería

CERTIFICACIÓN DE AUTORIA

Yo, José Jahir Changuan Echeverría, con cédula de ciudadanía 1725664815, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



C.I. 172566481-5

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Cristina Giselle Oscullo, certifico que conozco al autor del presente trabajo de Disertación " Diseño y Construcción de un prototipo de un clasificador de tapas plásticas por color para la empresa SICAL Ingeniería", José Jahir Changuan Echeverría, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

MSc. Cristina Giselle Oscullo Naranjo, MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis queridos padres, José y Karina, cuyo incondicional apoyo, cariño y confianza fueron fundamentales para culminar exitosamente este trabajo de titulación. Su constante estímulo y aliento me impulsaron a superar los desafíos y perseverar en la búsqueda de conocimiento y crecimiento académico. Sin su respaldo inquebrantable, este logro no habría sido posible.

Agradezco a mis hermanos Grace, Sarahí, y Martín, cuyo apoyo incondicional y ocurrencias ingeniosas fueron un gran impulso para mí durante este proceso.

Agradezco a Cristina Oscullo mi tutora de tesis, que, con su paciencia, seguimiento, y consejo pude culminar este trabajo de titulación.

Un agradecimiento especial, a Carlos López que con su paciencia, disposición y consejo pude culminar este proyecto. Adicionalmente, quiero agradecer a todo el equipo de SICAL-Ingeniería donde fue realizado el proyecto por su accesibilidad, apoyo, guía y consejo, lo que permitió culminar de gran manera este trabajo.

Dedico este trabajo a mi yo del pasado, a aquel Jahir que cometió errores y aprendió importantes lecciones en el camino. Reconozco que ignorar responsabilidades solo nos alejaba de nuestros objetivos y nos perjudicaba a nosotros mismos. Sin embargo, comprendí que el pasado no determina nuestro futuro, sino que el presente nos brinda la oportunidad de enfrentar y corregir esos errores, encaminándonos hacia un futuro mejor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Tema	1
2	Objetivos	1
	2.1 General	1
	2.2 Específicos	1
3	Problema	1
4	Hipótesis	2
5	Estado del Arte	3
	5.1 Reciclaje y reutilización de tapas plásticas	3
	5.2 Impacto ambiental	4
	5.3 Sistemas de clasificación	5
	5.4 Tecnologías de clasificación	7
	5.5 Sensores de color	8
	5.6 Protocolo de comunicación RS485	11
	5.7 Prototipos de clasificadores por color	12
6	Ciclo básico de diseño	15
	6.1 Definición del producto	16
	6.2 Diseño Conceptual	18
7	Diseño Mecatrónico	24
	7.1 Diseño Mecánico	24
	7.2 Dimensionamiento Electrónico y de control	64
	7.3 Desarrollo de la programación	77
8	Implementación del prototipo del clasificador de tapas por color	78
	8.1 Implementación mecánica	80
	8.2 Implementación del subsistema de traslación	81
	8.3 Implementación Eléctrica-Electrónica	85
	8.4 Configuración Comunicación PLC - Arduino UNO	92
	8.5 Implementación del Prototipo clasificador de tapas mediante sensores de color	94

9	Pruebas y Resultados	94
9.1	Alimentación	94
9.2	Prueba de Transporte de tapas	96
9.3	Prueba proceso de detección de color	97
9.4	Prueba Subsistema Pick&Place	100
9.5	Funcionamiento del prototipo	104
10	Conclusiones	107
11	Recomendaciones	108

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Ciclo de vida de una tapa plástica	5
2	Modo de operación de un sensor de color [10].	9
3	Modo de operación de un sensor de color en un objeto blanco [10].	9
4	Relación de detección de un objeto amarillo	10
5	Protocolo de comunicación Rs-485 [15].	12
6	RS-485 en una red [15].	12
7	Clasificadora de botellas PET por color [16].	13
8	Clasificador de manzanas por color [17].	13
9	Selector de tapas por color [18].	14
10	Clasificador Msort OPT [19].	14
11	GROTECH Multifunction color sorte [20].	15
12	Ciclo básico de diseño dividido por etapas	16
13	Diagrama de bloques del prototipo	18
14	Matriz Morfológica	19
15	Alternativa 1	20
16	Alternativa 2	20
17	Alternativa 3	20
18	Alternativa 4	21
19	Modelado 3D de la alternativa seleccionada	24
20	Modelado 3D estructura y sus partes	25
21	Representación de una viga hiperestática	27
22	Diagrama de fuerza cortante Caso 1.	28
23	Diagrama de momento flector Caso 1.	28
24	Diagrama de fuerza cortante Caso 2.	28
25	Diagrama de momento flector Caso 2.	29
26	Resultados de simulación deflexion máx viga soporte tornillo	29
27	Resultados de simulación máx viga soporte chumacera tornillo	29
28	Subsistema Pick&Place	30

29	Simulación estructura subsistema Pick&Place	31
30	Modelo 3D Gripper	34
31	DCL Dedo 1	35
32	DCL Dedo 2	37
33	DCL Subsistema pick&place	41
34	Extracto Anexo D (Guia lineal seleccionada)	43
35	Extracto Anexo E (Tornillo seleccionado)	44
36	Modelado 3D tolva con mecanismo	46
37	Mecanismo rotatorio	47
38	Rodillos	51
39	Estructura Banda	52
40	Modelo 3D: Piñon - cremallera	60
41	Modelado 3D superficie Banda Tolva	61
42	Modelo 3D compuerta	63
43	Resultados de la simulación esfuerzo de Von Misses	63
44	Resultados de la simulación Desplazamientos	63
45	Resultados de la simulación Deformaciones	64
46	Modelado 3D superficie Banda Tolva	64
47	Posición fines de carrera	67
48	Driver TB6600	69
49	Diagrama de bloques del prototipo	74
50	Diagrama de consumo del prototipo	74
51	Fuente de 12V - 5A	75
52	Regulador de VOLTaje Lm2596	76
53	Fuente de 24 V	76
54	Mini interruptor Weg	77
55	Estructura del prototipo	80
56	Lubricación elementos subsistema de traslación	82
57	Archivo para realizar el corte de la plancha (Banda)	82
58	Elementos que conforman la banda transportadora	83

59	Banda transportadora implementada	83
60	Archivo para realizar el corte de la plancha (Alimentador)	83
61	Implementación Pieza Alimentador-Motor	84
62	Alimentador implementado	84
63	Subsistema Pick&Place	85
64	Plancha Base Montada	85
65	Sensor de color montado	86
66	Ajuste DipSwitch Micro Step	90
67	Ajuste DipSwitch Corriente	90
68	Tablero de control	92
69	Panel de control	92
70	Esquema de conexión Protocolo RS-485	93
71	Prototipo clasificador de tapas por color	94
72	Prueba de alimentación	95
73	Resultados Prueba 22 Tapas	99
74	Resultados Prueba 25 Tapas	99
75	Gráfica Tiempo vs Pulsos/s	103
76	Gráfica Tiempo vs Cant. Tapas	105
77	Colores de tapas a utilizar en la prueba	106
78	Distribución de Clasificación	106

ÍNDICE DE TABLAS

1	Tipos de sistemas de clasificación	6
2	Relación de reflejos de un sensor de colores	10
3	Tipos de sensores de color	11
4	Asignación de Letras de los Criterios de Ponderación	21
5	Análisis de peso específico	21
6	Evaluación de Sincronización	22
7	Evaluación de Complejidad	22
8	Evaluación de Visualización	22
9	Evaluación de Mantenimiento	22
10	Evaluación de costo	23
11	Análisis de Alternativas	23
12	Constante de condición final para columnas de Euler	26
13	Especificaciones Actuador lineal High Speed Linear Actuator	32
14	Parámetros de diseño gripper	34
15	Especificaciones microservo SG-90	39
16	Factor de contacto f_c para guías lineales	40
17	Factor de carga f_v para guías lineales	40
18	Especificaciones motor integrado ISV57T-180	45
19	Parámetros relevantes del motor a pasos NEMA 17	48
20	Dimensiones del tambor	50
21	Coeficiente de fricción por elementos móviles	54
22	Parámetros relevantes del motor a pasos NEMA 24	57
23	Sensores y Actuadores del prototipo	65
24	Sensor Capacitivo Carlo Gavazzi	65
25	Sensor de color TCS3200	66
26	Actuador lineal FA-RA-22-12	67
27	Motor a pasos Nema 17	68
28	Motor a pasos NEMA 24	68

29	Servomotor integrado ISV57T	69
30	Microservo SG90	70
31	IO del prototipo	70
32	Microservo SG90	71
33	Luces indicadoras	73
34	Luces indicadoras	73
35	Voltajes y corrientes Fuente de 12 V	75
36	Voltajes y corrientes Regulador de Voltaje	75
37	Voltajes y corrientes Fuente de 24V	76
38	Adquisición de valores máximos y Mínimos del sensor	78
39	Disposición pines de control fotodiodos	87
40	Disposición pines de control fotodiodos	87
41	Adquisición de valores máximos y Mínimos del sensor	88
42	Adquisición de valores máximos y Mínimos del sensor	89
43	Confiuración Driver Motor Alimentador (MicroStep)	90
44	Confiuración Driver Motor Alimentador (Corriente)	90
45	Confiuración Driver Motor Banda (MicroStep)	91
46	Confiuración Driver Motor Banda (Corriente)	91
47	Resultados Prueba alimentación	96
48	Resultados Prueba Movimiento Banda	97
49	Resultados Prueba proceso de detección (Recalibración).	98
50	Resultados Prueba proceso de detección (Errores recalibración).	98
51	Resultados Prueba Gripper	101
52	Resultados Prueba Pistón y fines de carrera	102
53	Resultados Prueba Movimiento Pick&Place	103
54	Resultados Prueba de Eficiencia	104
55	Resultados Prueba de Robustez	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Catálogo Dipac para tubo estructural rectangular	114
---	-----

Anexo B: Datasheet Actuador Eléctrico	115
Anexo C: Datasheet Microservo SG-90	116
Anexo D: Catálogo Hepcomotion HLG guías lineales	117
Anexo E: Catálogo HepcoMotion BSP Husillo de bolas premier	118
Anexo F: Datasheet ServoMotor integrado iSV57T	119
Anexo G: Datasheet motor a pasos NEMA 17	120
Anexo H: Catálogo Bandas y Bandas PVC	121
Anexo I: Datasheet Motor a pasos NEMA 24	122
Anexo J: Datasheet Sensor capacitivo Carlo Gavazzi	124
Anexo J: Datasheet Sensor de color TCS3200	125
Anexo L: Diagrama de flujo PLC-Arduino	126

PROTOTIPO DE UN CLASIFICADOR DE TAPAS PLÁSTICAS POR COLOR

1. Tema

El tema planteado para este proyecto de titulación es: Diseño y construcción de un prototipo de demostrativo de un clasificador de tapas por color para la empresa SICAL Ingeniería.

2. Objetivos

2.1. General

Diseñar e implementar un prototipo de un clasificador de tapas por color.

2.2. Específicos

- Diseñar un clasificador capaz de clasificar tapas de color rojo, azul, verde.
- Dimensionar, seleccionar e implementar los componentes mecánicos y electrónicos que permitan el funcionamiento del prototipo.
- Diseñar y dimensionar los mecanismos que intervienen en el prototipo.
- Dimensionar un circuito de control que permita el buen funcionamiento del prototipo.
- Diseñar y dimensionar un interfaz humano maquina (HMI), que permita visualizar información de manera comprensible en tiempo operativo.
- Realizar pruebas para verificar el funcionamiento del prototipo.

3. Problema

En la actualidad el reciclaje se presenta como un campo de la industria que debe ser tomado más en cuenta considerando que, en Ecuador se venden alrededor de 3.51 millones de botellas de Coca Cola por día aproximadamente. Según Flacsoandes,

solo el 14 % del plástico es reciclado en Ecuador, y un 4 % es reciclado solo en la ciudad de Quito de manera formal e informal [1].

La clasificación por color de tapas plásticas surge ante la necesidad de: Para reciclar y comerciar estas tapas residuo se debe tener una separación por color para su correcto procesamiento. En su mayoría las entidades de recolección de este tipo de residuos son fundaciones sin fines de lucro, que para clasificarlas se requiere de una o varias personas para esta tediosa labor, y que en muchas ocasiones no se obtiene un gran rendimiento. Por lo tanto, el desarrollo de un sistema semiautomatizado de clasificación de tapas por color utilizando sensores de color podría mejorar la eficiencia y precisión de este proceso de clasificación, lo que podría reducir los posibles errores humanos y aumentar el comercio de estos residuos. Además, este tipo de sistema podría ser aplicado en la industria en un futuro.

Con el fin de brindar una solución a esta problemática, se realiza el proyecto denominado "Diseño y Construcción de un prototipo demostrativo de un clasificador de tapas para la empresa SICAL Ingeniería". Dicho proyecto cumple con las expectativas de la empresa auspiciante de obtener un prototipo demostrativo para la visualización y entendimiento de este tipo de procesos.

4. Hipótesis

El presente prototipo contempla el diseño e implementación de un sistema de clasificación de tapas plásticas dependiendo de su color. El proceso de clasificación cuenta con cuatro etapas importantes que son:

1. Alimentación: El proceso cuenta de un subsistema de alimentación de tapas que es el que provee al prototipo de tapas para su posterior clasificación.
2. Movimiento: El proceso cuenta con un subsistema de movimiento que es el que mueve las tapas de un lugar en específico a otro
3. Clasificación: El proceso cuenta con un subsistema de clasificación que es el que clasifique las tapas según su color, es decir, azul, verde y rojo por ser colores primarios y en caso de no ser de estos tres colores se clasifica como no

reconocido, para su correcta clasificación se coloca las tapas según su color en diferentes compartimientos designados a cada caso.

4. Detección: El prototipo cuenta con sensores de color para la discretización y detección de colores, el mismo que envía la señal para que el subsistema de clasificación se accione.
5. Visualización: La visualización del proceso es por medio de un interfaz humano máquina que muestra datos relevantes del proceso como por ejemplo, conteo de tapas por color, accionamiento de algún fin de carrera o sensor, mensajes indicativos.

El desarrollo del prototipo permitirá una clasificación precisa de las tapas plásticas, para su posterior reutilización.

5. Estado del Arte

En esta sección, se expone una revisión detallada de la literatura que representa las bases teóricas del prototipo a implementar.

5.1. Reciclaje y reutilización de tapas plásticas

Los plásticos, al ser un material versátil, cuentan con la capacidad de ser recuperados para ser utilizados en un nuevo producto. Esta recuperación se puede realizar de varias maneras, incluyendo el lavado y la limpieza de un tipo de plástico para volver a ser utilizado, así como la fundición del plástico. Este proceso se puede realizar varias veces, generando así nuevos productos. Además, como los plásticos proceden del petróleo, tienen un poder calorífico considerable que puede ser utilizado como recurso energético en el proceso de generación de vapor. [2].

El reciclaje de plásticos contempla cuatro métodos [2]. Los mismos que se detallan, a continuación:

- Primario: Este método de reciclaje consiste en obtener un producto con propiedades físicas y químicas similares al material original. Este tipo se logra a partir de reutilizar elementos que no han sido contaminados con cualquier otra sustancia.

- Secundario: Este método de reciclaje consiste en tomar los elementos y someterlos a procesos de fundición, para obtener un elemento totalmente diferente al original. Generalmente, se utilizan elementos que han sido contaminados o dañados.
- Terciario: este es un método de reciclaje distinto, ya que implica un cambio químico en la estructura del plástico. Cabe mencionar que este tipo de reciclaje es el menos deseado y accesible, ya que convierte los elementos de plástico en hidrocarburos para lograr métodos químicos o térmicos.
- Cuaternario: En este método se plantea el uso de los residuos como fuente energética con el propósito de reutilizar la energía, sin considerar el material. Este método se presenta como una oportunidad para eliminar los rellenos sanitarios de plástico, pero genera contaminación y representa una inversión inicial considerable.

5.2. Impacto ambiental

La gestión de los desechos sólidos en Ecuador refleja la realidad de una nación en desarrollo, con un promedio de 0.81 kg de desechos por persona. Solo el 20 por ciento del total de residuos se trata en condiciones óptimas, y dentro de este porcentaje se pueden considerar uno de los materiales más utilizados por los habitantes diariamente: las botellas plásticas y sus tapas [1]. El tema es que el reciclaje aparenta ser una solución, y en ciertas circunstancias, puede considerarse como una medida a largo plazo. Por lo tanto, la aplicación de las 3R en los plásticos se vuelve cada vez más crítica, ya que, la descomposición del plástico requiere de más tiempo en comparación con otros materiales. Uno de los objetos de plástico que más se ven desperdiciados son las tapas de plástico. Estas tapas están hechas de un tipo de plástico denominado polipropileno, identificado por las siglas PP Y con el número de identificación N°5, este plástico es conocido por ser el más ligero en términos de peso específico en el mercado, sus propiedades físicas son muy volubles y, por su tamaño, son las que más se pueden encontrar en diversos lugares, como las calles, ríos, playas, etc., lo que al final genera más contaminación.

El estudio de la vida útil de una tapa de plástico es crucial para poder entender el proceso de este objeto desde su creación hasta su reutilización. Esto dependerá del estado de la tapa, es decir, si esta se ha contaminado con otra sustancia o si contiene algunos daños en su superficie. Este análisis contempla la metodología Eco Indicador 99, que es un método que se centra en el diseño y creación de productos para entender las diferentes variables que interfieren en el proceso de su obtención. En este caso, se analizará una tapa plástica con el fin de entender su proceso de reciclaje. [3]. A continuación, se presenta el diagrama de flujo que ilustra el ciclo de vida de una tapa plástica, obtenido a partir del estudio de su vida útil y basado en [2] y [3].

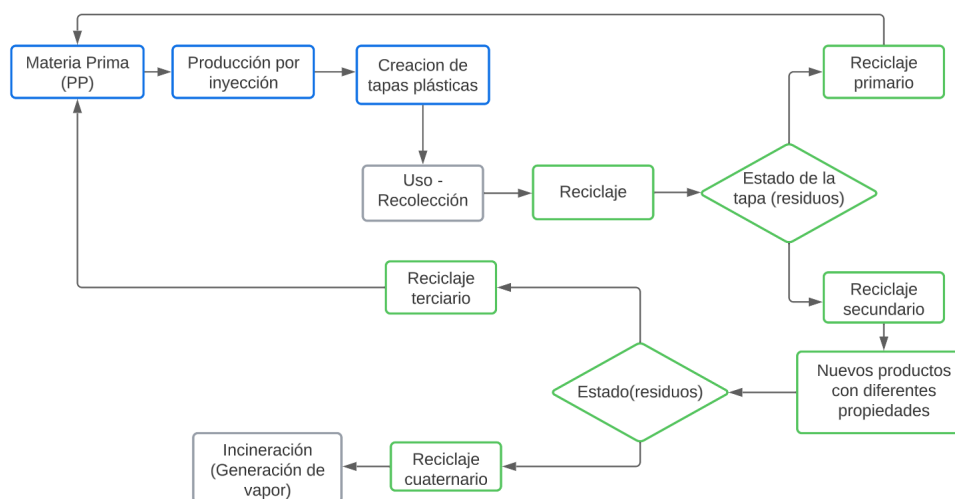


Figura 1. Ciclo de vida de una tapa plástica

Como se pudo observar en la Figura 1, la vida útil de una tapa plástica puede terminar sirviendo para crear otras tapas o para crear otros objetos con diferentes propiedades, incluso generando vapor. Pero todo esto es posible gracias a los diferentes tipos de reciclaje que existen, considerando sus características individuales y los parámetros a cumplir por parte de los residuos de las tapas.

5.3. Sistemas de clasificación




Actualmente, la clasificación de objetos o elementos es muy utilizada en una infinidad de campos de la industria, ya sea para dividir o redireccionar un lote determinado de productos según un parámetro predefinido. Este parámetro puede ser el peso, la

forma, el color, las dimensiones, entre otros aspectos, que, si se implementan correctamente pueden aumentar la eficiencia de un proceso.

Tipos de sistemas de clasificación

Los sistemas de clasificación dependen de la aplicación y estos pueden comprender varios elementos mecánicos, electromecánicos, neumáticos, sensores, tecnologías de clasificación, etc. Estos dependen del producto que va a clasificar. A continuación, se presentan los principales tipos de sistemas de clasificación en la industria.

Tabla 1. Tipos de sistemas de clasificación

Tipo	Imagen
<p>NarrowBelt/Pop up: Es un clasificador que desvía al producto por medio de un mecanismo ubicado en cada salida requerida, este mecanismo recibe una señal que determina a que salida debe ir cada producto [4].</p>	
<p>Shoe sorter: Es un clasificador que desvía el producto con un mecanismo oculto que guía al producto a la salida requerida. Es una herramienta que genera más confianza y puede abarcar más productos por minuto debido a su subsistema de clasificación conformado por sensores [4].</p>	
<p>Cross belt(Bandas cruzadas): Es un clasificador que basa su mecanismo en bandas cruzadas que están dirigidas a varias salidas. Es una gran opción para clasificar varios productos al mismo tiempo [4]</p>	

Tipo	Imagen
<p>Manipulador de 2 ejes: Conocidos como robots cartesianos, estos dispositivos están compuestos por ejes que se desplazan en líneas rectas, formando ángulos rectos entre sí. Este sistema dispone de un manipulador en uno de los ejes que le permite agarrar objetos y trasladarlos de un lugar a otro. [5].</p>	
<p>Manipulador Delta (5 gdl): Este tipo de manipulador se distingue por su amplia cobertura de la superficie de trabajo y su excelente velocidad. Cuenta con un mecanismo de cadenas cinemáticas basado en una aplicación de paralelogramos consiguiendo un campo de movilidad de 5 grados de libertad y localizar 350 puntos del área de trabajo. Este sistema cuenta con un manipulador al final del robot que puede ser neumático o mecánicos que le permite tomar objetos y llevarlos de un lado a otro [6]</p>	

5.4. Tecnologías de clasificación

En un sistema de clasificación, la tecnología con la que se discretiza los parámetros resulta ser fundamental ya que no solo determina que producto va cada salida, sino que es el componente que envía las señales al mecanismo de clasificación.

Tipos de tecnologías de clasificación

Actualmente, existen diversas tecnologías para la clasificación de productos, en este caso se profundizará en las tecnologías de clasificación por color más utilizadas:

- **Visión artificial:** Es una tecnología que utiliza cámaras para capturar imágenes de los objetos y luego procesarlas mediante algoritmos de visión por computadora para detectar y clasificar los objetos por color. Esta tecnología es de gran versa-

tilidad y se aplica en diversas áreas, abarcando desde la clasificación de frutas y verduras hasta el control de calidad en la fabricación de productos electrónicos. En relación con la clasificación de tapas mediante la variante del color, la visión artificial podría ser una buena opción, ya que permite detectar y clasificar objetos de forma muy precisa [7]

- **Espectroscopía:** La espectroscopía se fundamenta en la premisa de que cada color posee una longitud de onda particular e individual. Al medir la luz reflejada por un objeto y analizar su espectro, se puede determinar su color con alta precisión. Esta tecnología se utiliza en diversas aplicaciones, como la clasificación de materiales en la industria alimentaria y la clasificación de minerales en la industria minera [8].
- **Sensor de color:** Los sensores de color funcionan midiendo la intensidad de la luz reflejada por un objeto en diferentes longitudes de onda. Estos sensores son muy precisos y se utilizan en diversas aplicaciones, como la clasificación de materiales en la industria alimentaria, la clasificación de productos farmacéuticos y la clasificación de productos electrónicos [9].

5.5. Sensores de color

Un sensor de color es un tipo de sensor óptico que emite luz mediante un transmisor y, a través de un receptor, identifica la luz reflejada por el objeto bajo análisis. Este sensor evalúa la intensidad luminosa de los colores rojo, verde y azul, utilizando la paleta de colores RGB, con la misma que puede determinar los diferentes colores de los objetos que se van a analizar.

Principio de funcionamiento

Los sensores de color pueden clasificarse en dos tipos:

- El primer tipo de sensor emite luz con longitudes de onda amplias sobre el objeto y diferencia los tres colores en el receptor

- El segundo tipo de sensor ilumina el objeto con tres tipos de luz (roja, azul y verde) de forma independiente.

En ambos casos el sensor detecta la intensidad de luz recibida del rojo, el azul y el verde, posteriormente se calcula la relación de la luz recibida [10].

A continuación, se presenta el modo de operación de un sensor de color.

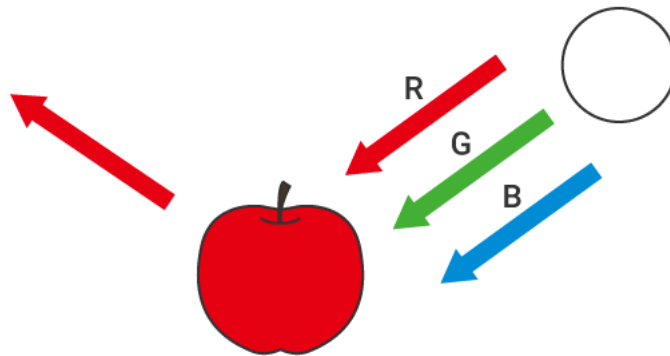


Figura 2. Modo de operación de un sensor de color [10].

Como se puede observar en la Figura 2, el círculo blanco representa una fuente de la luz blanca, una vez que la luz blanca enfoca un objeto envía las longitudes de onda roja, azul y verde, dependiendo del color del objeto refleja la luz del color. Por otro lado, si se enfoca un objeto de color blanco, se refleja la luz de los tres colores. Como se puede observar en la Figura 3.

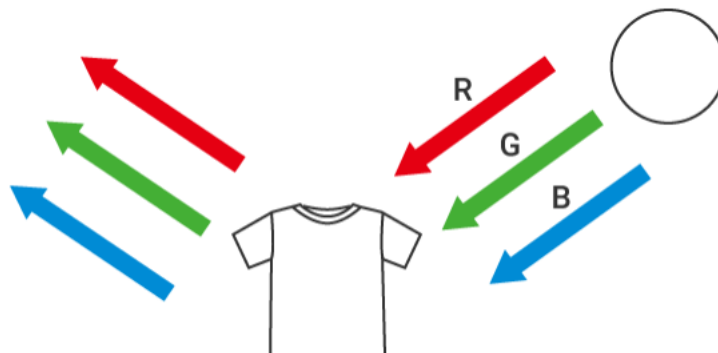


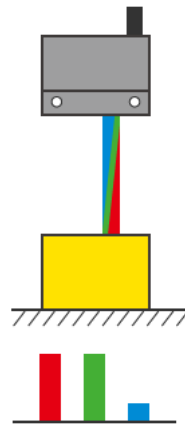
Figura 3. Modo de operación de un sensor de color en un objeto blanco [10].

En la siguiente tabla, se puede observar una relación de reflejos para poder detectar colores primarios.

Tabla 2. Relación de reflejos de un sensor de colores

Color del objeto	Roja	Verde	Azul
Rojo	X		
Amarillo	X	X	
Verde		X	
Azul			X
Blanco	X	X	X

Con esta relación se puede estimar tanto los colores primarios como los demás colores con esta relación, a continuación, se puede observar un ejemplo donde se presenta la relación de detección de un objeto amarillo.

**Figura 4.** Relación de detección de un objeto amarillo

Tipos de sensores

Actualmente existen varios tipos de sensores en el mercado, destinados a una gran variedad de aplicaciones por lo que en la Tabla 3 se recopilan los sensores más comunes.

Tabla 3. Tipos de sensores de color

Tipo	Imagen
<p>QCM50: Es un sensor que proporciona una verificación de color confiable en aplicaciones extremadamente complejas basadas en color y contraste. Este sensor puede detectar hasta 12 colores. Contiene una pantalla LCD y botones integrados. [11]</p>	
<p>Sensor fotoeléctrico (XUB2AKSNM12T): Es un sensor de Schneider Electric fotoeléctrico de uso general que tiene una línea de vista axial con emisión infrarroja. [12].</p>	
<p>Sensor fotoeléctrico E3FA: La serie E2FA de Omron es sencilla y rápida de instalar, además de ser intuitivo para su configuración, es ideal para aplicaciones de detección continua. [13]</p>	
<p>El sensor TCS3200/TCS230: El sensor puede detectar y medir una gama casi ilimitada de colores primarios visibles. Es muy utilizado para clasificación por color, sensor de luz ambiente, coincidencia de color. [14].</p>	

5.6. Protocolo de comunicación RS485

El transporte de datos a largas distancias ha sido una problemática en la industria. Por lo que para dar solución a esta problemática se han inventado varias soluciones y una de ellas es la interfaz RS-485.

El estándar RS-485 fue desarrollado en conjunto por la EIA (Electronics Industries Association) y la TIA (Telecommunications Industries Association), y su característica principal es que trabaja en modo diferencial, es decir, que RS485 envía los datos en modo balanceado. Los datos se envían por dos líneas que no están referencia a GND

o tierra. Esto significa que las líneas de datos se conectan a una entrada positiva y a una entrada negativa [15]

Este protocolo de comunicación cuenta con las siguientes ventajas:

1. Permite conexiones de hasta 1200m.
2. Permite velocidades de hasta 10 Mbps
3. Ayuda a rechazar las interferencias, esto debido a que trabaja en modo diferencial.

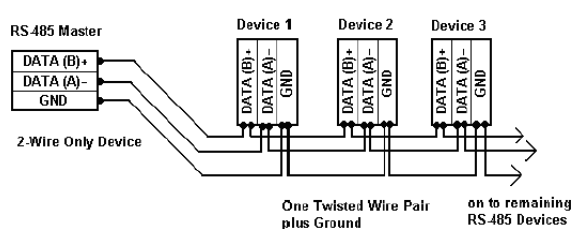


Figura 5. Protocolo de comunicación Rs-485 [15].

Rs-485 en una red

Este protocolo se presenta como el primer intento por evitar un enlace físico de datos para cada sensor.

Se puede implementar sistemas de red de 2 o 4 hilos, que permite conectar varios pares transmisores/receptores a un bus de dos datos, es decir, se puede conectar varios sensores, controladores, microcontroladores, etc. [15].

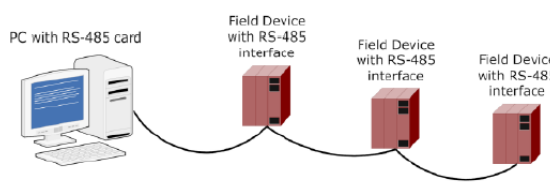


Figura 6. RS-485 en una red [15].

5.7. Prototipos de clasificadores por color

En esta sección se realiza una revisión bibliográfica de prototipos de clasificadores implementados en la industria y en trabajos de titulación.

- Diseño de una máquina clasificadora de botellas pet por color mediante un control automático en Huancayo - Junín: Este proyecto presenta el diseño de un clasificador de botellas PET mediante sensores de color para Huancayo, Junín. Este proyecto contempla el uso de un PLC Siemens para su control automático con la finalidad de optimizar el proceso de clasificación de botellas PET y así poder darles un nuevo uso a estos envases [16]. Figura 7.

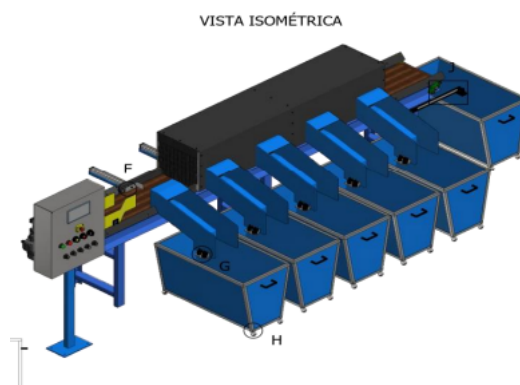


Figura 7. Clasificadora de botellas PET por color [16].

- Diseño de un sistema clasificador de manzanas por color mediante visión artificial para la empresa Fresh Natural C.I.: Este proyecto presenta el diseño de un clasificador de manzanas por color, el cual utiliza un sistema de transporte mediante una banda de PVC de nylon y un sistema de clasificación de palancas accionadas por medio de servomotores. Consiguiendo un 100 % de efectividad en un lote de 18 Manzanas [17]. Figura 8.



Figura 8. Clasificador de manzanas por color [17].

- Selectora de tapas plásticas por color: Este proyecto presenta un clasificador de tapas mediante sensores de color y un Arduino Mega para su control, adicionalmente utiliza actuadores neumáticos como sistema de clasificación. Con el fin de

brindar una solución a la gran problemática que representa el desaprovechamiento de materia prima que genera el desecho de estas tapas plásticas [18]. Figura 9.



Figura 9. Selector de tapas por color [18].

- Máquina clasificadora para reciclaje MSort OPT: Mogense establece estándares si se refiere a clasificación óptica con el MSort OPT. Este sistema de clasificación clasifica todos los materiales a granel por color y geometría. Este clasificador es adecuado para el procesamiento de vidrio, minerales plásticos. Tiene como aplicación central el reciclaje de plásticos y/o vidrio [19]. Figura 10.



Figura 10. Clasificador Msort OPT [19].

- GROTECH Multifuncon color sorter: Esta máquina brinda una solución de clasificación orientada al reciclaje de plástico, esta máquina cuenta con tecnología óptica RGB ccd para la discretización y detección de colores. Es una máquina de alta confiabilidad y larga vida útil, además, es un clasificador de alta velocidad [20]. Figura 11.



Figura 11. GROTECH Multifunction color sorte [20].

6. Ciclo básico de diseño

El proceso de diseño del presente proyecto se basa en una unidad fundamental denominada ciclo básico de diseño, que debe aplicarse de manera repetitiva a lo largo del proceso de diseño en una secuencia en forma de espiral convergente donde cada vez las soluciones obtenidas se aproximan a los requerimientos y objetivos del proyecto [21].

Debido a su carácter general y abstracto, el ciclo no puede considerarse como metodología por lo que se busca estructurar este ciclo; Con el fin solucionar esta limitante se decide reagrupar las etapas del ciclo en grupos de actividades que según se van completando se puede alcanzar estados de desarrollo. Este modelo de etapas se enfoca en la idea, que el diseño puede representarse en cuatro niveles que concretan los resultados de cada una de las etapas posteriores. En la Figura 12, se detalla un esquema del proceso de diseño dado por la norma alemana VDI 2221 [21] y modificado para su mejor comprensión y seguimiento.

El esquema presenta en la Figura 12, representa el proceso de diseño que el presente proyecto seguirá de manera que el diseño sea de correctas proporciones.

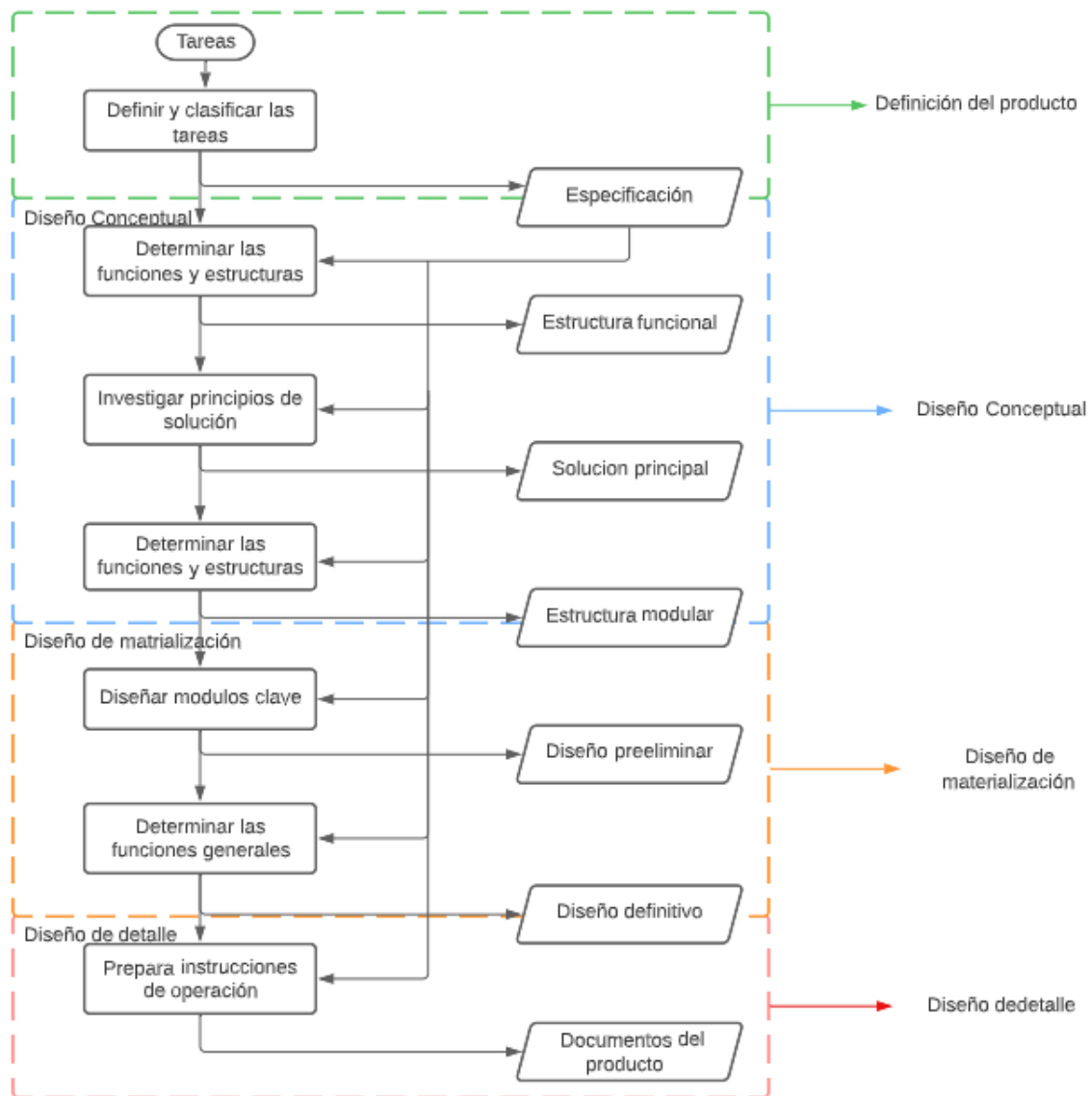


Figura 12. Ciclo básico de diseño dividido por etapas

6.1. Definición del producto

En esta etapa a partir del enunciado del proyecto se establece aquellas acciones destinadas a definir el proyecto de forma concreta y precisa, es decir, llevar el proyecto de una fase de idealización a una fase de concreción que nos permitirá definir tanto especificaciones como limitantes en el proceso de diseño. Un prototipo demostrativo de un clasificador de tapas plásticas mediante sensores de color, es un sistema que contara con los siguientes parámetros:

1. Elementos que procesar: el prototipo procesará y discretizará entre tapas de plástico de 3cm de diámetro y 1 cm de altura, que son las más comunes en la

comunidad. Las tapas procesadas serán separadas según su color, en este caso se las clasificará en cuatro grupos dependiendo de su color, es decir, tapas rojas, tapas verdes, tapas azules y tapas con color no designado. Este proceso recae en la importancia de tener elementos de un mismo color para poder entrar en proceso de reciclaje primario. de operación: el prototipo contará de un solo modo de operación, donde se podrá visualizar el buen funcionamiento del prototipo y de sus sistemas integrados, este modo de operación dará su inicio por medio de un interfaz humano máquina (HMI) la misma que se encargará de realizar el seguimiento del funcionamiento.

2. Entorno donde opera: El prototipo se ubicará en un ambiente interno, con atmosfera seca, poca incidencia de luz solar, y gran incidencia de luz eléctrica; el prototipo debe ser conectado a tomacorrientes, la empresa auspiciante se encargará de guardar y dar uso al prototipo.
3. Aspectos de fabricación: La empresa auspiciante al ser una empresa dedicada al desarrollo de proyectos, cuenta con las maquinarias para la construcción de la estructura, así también cuenta con una gran variedad de dispositivos electrónicos, como: PLC, variadores, cable, dispositivos i/o, entre otros. En caso de necesitar algo que la empresa auspiciante no pueda conseguir el realizador del proyecto hará una inversión estimada de 150 dólares.
4. Aspectos comerciales: el prototipo se verá en condiciones aceptables, contará con el logo de la empresa auspiciante, y se podrá realizar demostraciones.

Una vez definidos los parámetros de funcionamiento del proyecto se procede a determinar las especificaciones generales del prototipo.

- El prototipo será de las siguientes dimensiones: 1.5 m de largo, 0.54 de ancho, y 1.5 m de alto. Las dimensiones son adecuadas para el prototipo considerando que todos los elementos (mecánicos, electrónicos, etc.) deben estar dentro del prototipo.
- EL prototipo tendrá una conexión al toma corriente (110 V, 60Hz).

- El prototipo contará con subsistemas para cumplir una función que concluirá con el buen funcionamiento del prototipo estos serán: Alimentación de tapas, movimiento de tapas, subsistema de sujeción, sensores de color, interfaz para visualizar el buen funcionamiento.
- EL prototipo contará con el protocolo de comunicación RS-485 Arduino UNO – PLC (Delta).
- El prototipo contará con una pantalla táctil para visualizar el funcionamiento, así como mensajes de precaución, entre otras funciones.

Con los parámetros y especificaciones definidos podemos determinar un diagrama de bloques del prototipo el mismo que se puede visualizar en la Figura 13.

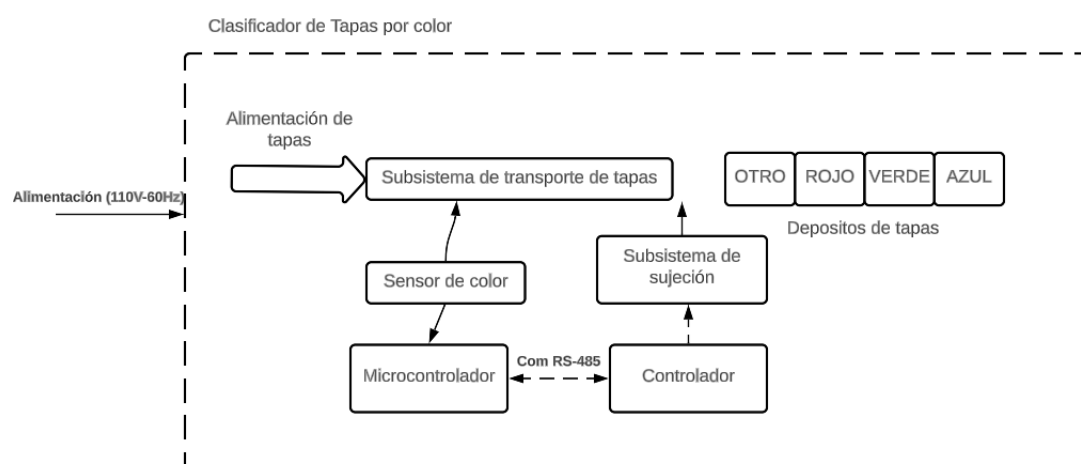


Figura 13. Diagrama de bloques del prototipo

6.2. Diseño Conceptual

En esta etapa del proceso de diseño, se lleva a cabo un análisis de alternativas de solución que surgen de las especificaciones del producto obtenidas en la etapa de definición, con el propósito de evaluarlas y elegir la alternativa que mejor se adecue al proyecto. Esta etapa es la más innovadora y sus soluciones suelen guiar el proceso de construcción que se llevará a cabo.

Para el diseño conceptual de este proyecto, se llevará a cabo un análisis mediante matrices morfológicas, las cuales determinarán las diferentes opciones disponibles

para cada funcionalidad del prototipo. A través de estas combinaciones, es posible definir alternativas que serán evaluadas mediante matrices de residuos ponderados, las cuales permitirán determinar cuál de las alternativas es la más idónea para el proyecto.

Matriz Morfológica

Como se menciona en el apartado anterior una matriz morfológica sirve para definir las diferentes opciones de cierta funcionalidad dentro del sistema. En este caso se redujo las opciones a dos opciones por cada funcionalidad del prototipo. A continuación, en la Figura 14, se detalla la construcción de la matriz morfológica del prototipo. A partir de

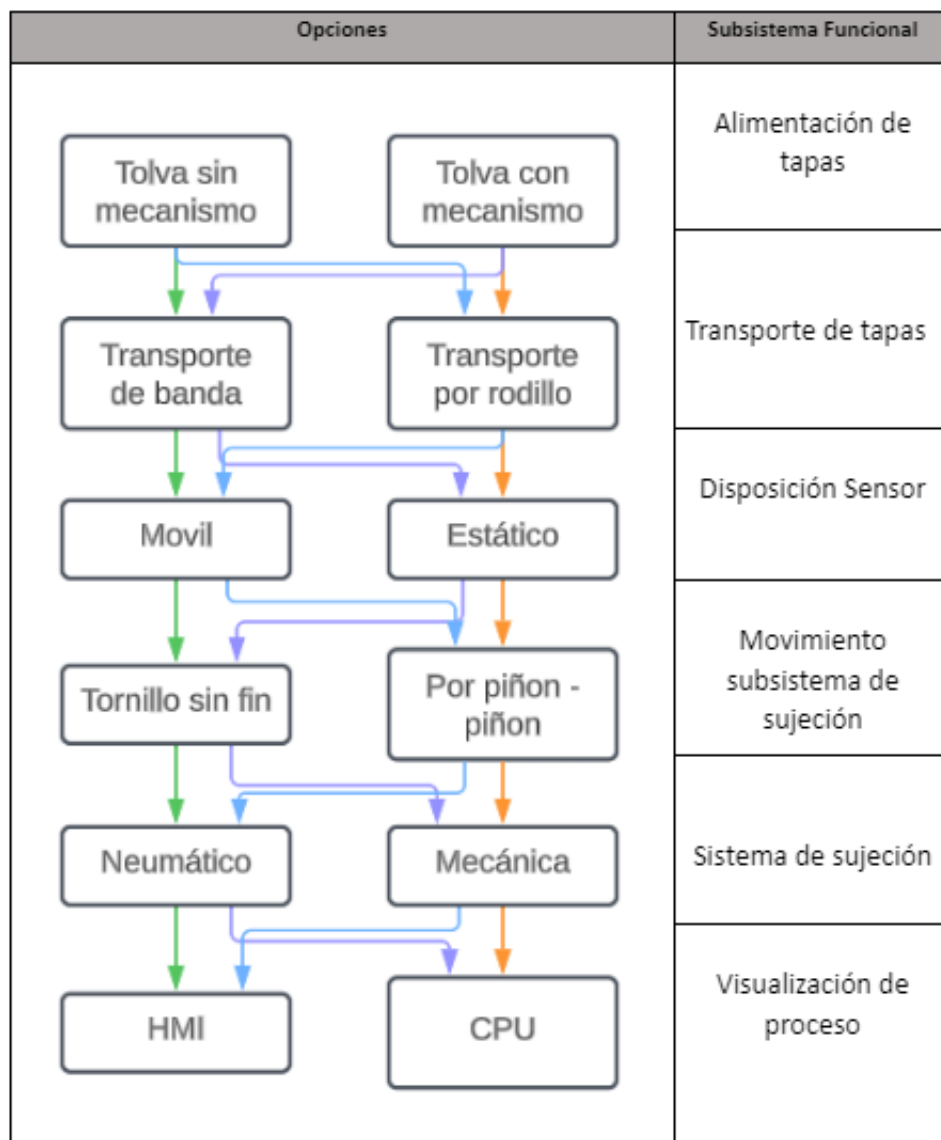


Figura 14. Matriz Morfológica

la matriz morfológica se pueden determinar las alternativas a analizar, en este caso se pudieron determinar cuatro alternativas que se pueden observar, a continuación. Figura 15, 16, 17, 18.

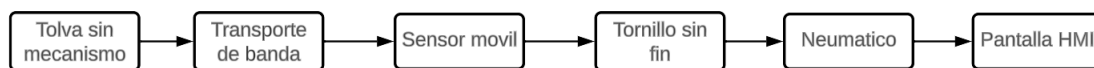


Figura 15. Alternativa 1

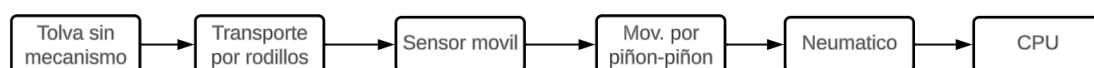


Figura 16. Alternativa 2

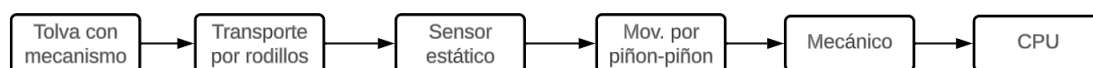


Figura 17. Alternativa 3

Análisis de alternativas mediante matrices de residuos ponderados

Realizar la matriz de residuos ponderados permite determinar cual de las alternativas consideradas a partir de la matriz morfológica es más óptima para el proyecto. Esta selección se realiza a partir de evaluar cada alternativa según criterios específicos del buen funcionamiento del prototipo. Los criterios de evaluación que se utilizan son:

- Sincronización: El prototipo considera un grupo de subsistemas cruciales para el buen funcionamiento del mismo, por lo que deben ser capaces de sincronizarse entre si.
- Complejidad: Al momento de tener varios subsistemas se debe priorizar la complejidad de algunos por sobre otros.
- Visualización: Los usuarios deben ser capaces de visualizar de manera correcta los parámetros importantes como el proceso mensajes importantes.
- Mantenimiento: El mantenimiento del prototipo debe ser sencillo de realizar en caso de un cambio de componentes, motores, etc.

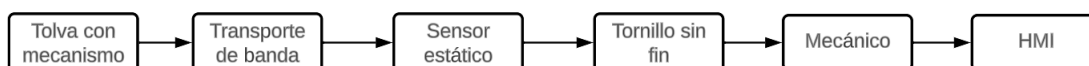


Figura 18. Alternativa 4

- Costo: Se debe considerar el costo de construcción, ya que esto determinara si el prototipo es rentable.

Una vez determinados los criterios y las alternativas se proceden a asignar pesos específicos a cada criterio en función de su importancia relativa. Para mayor simplicidad se le otorga a cada criterio una variable, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Asignación de Letras de los Criterios de Ponderación

VARIABLE	CRITERIOS
A	Sincronización
B	Complejidad
C	Visualización
D	Mantenimiento
E	Costo

En la Tabla 5, se puede observar la matriz de residuos ponderados realizada para determinar el peso específico de cada criterio de evaluación. Las celdas amarillas representan la correlación mas alta.

Tabla 5. Analisis de peso específico

	A	B	C	D	E	$\sum +1$	Ponderación
A	0	0	0	0.0	0.5	1.5	0.14
B	0	0	0	0.5	0.7	2.2	0.2
C	0	0	0	0	0.7	1.7	0.15
D	0.3	0.5	0	0	0.7	2.5	0.22
E	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	3.2	0.3

A continuación, se presentan las tablas con las matrices de residuos ponderados de las alternativas analizadas con cada criterio

- Sincronización

Tabla 6. Evaluación de Sincronización

Sincronización	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	0	2.5	0.250
Alternativa 2	0.5		0	0.5	2	0.200
Alternativa 3	0	1		0	2	0.200
Alternativa 4	1	0.5	1		3.5	0.350
Total					10	1.00

- Complejidad

Tabla 7. Evaluación de Complejidad

Complejidad	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0.5	1.5	0.17
Alternativa 2	1		0	1	3	0.330
Alternativa 3	1	1		0	3	0.330
Alternativa 4	0.5	0	1		1.5	0.170
Total					9	1.00

- Visualización

Tabla 8. Evaluación de Visualización

Visualización	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	0	1	2.5	0.17
Alternativa 2	0.5		0.5	1	3	0.330
Alternativa 3	1	0.5		0	2.5	0.28
Alternativa 4	0	0	1		2	0.220
Total					9	1.00

- Mantenimiento

Tabla 9. Evaluación de Mantenimiento

Mantenimiento	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	0.5	3	0.3
Alternativa 2	0.5		0	1	2.5	0.250
Alternativa 3	0	1		0	2	0.2
Alternativa 4	0.5	0	1		2.5	0.25
Total					10	1.00

- Costo

Tabla 10. Evaluación de costo

Costo	A1	A2	A3	A4	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0.5	0	1.5	0.15
Alternativa 2	1		0	0.5	2.5	0.250
Alternativa 3	0.5	1		0	2.5	0.250
Alternativa 4	1	0.5	1		3.5	0.35
Total					9	1.00

Una vez realizada la evaluación de alternativas según cada criterio , se procede a analizar la prioridad de las alternativas para determinar cual es la alternativa de diseño que se va a seguir. En la Tabla 11, se presenta el análisis de alternativas.

Tabla 11. Análisis de Alternativas

	A	B	C	D	E	$\sum +1$	Prioridad
Alternativa 1	0.025	0.030	0.07	0.04	0.050	0.214	3
Alternativa 2	0.04	0.025	0.07	0.030	0.060	0.225	2
Alternativa 3	0.030	0.020	0.07	0.030	0.06	0.190	4
Alternativa 4	0.05	0.04	0.07	0.045	0.06	0.265	1

Como resultado del análisis de alternativas presente en la Tabla 11. Se define a la alternativa 4 (Figura 18), como la alternativa mas idonea para el diseño del prototipo seguida de la alternativa 2 y con menos posibilidades las alternativas 3 y 1. A partir de los datos obtenidos en la tabla de residuos ponderados, se inicia el proceso de cálculo matemático para determinar las dimensiones de los componentes mecánicos que conforman la máquina. En la Figura 18, se presentan las partes que componen la alternativa seleccionada.

Esta alternativa cuenta con una tolva con un mecanismo de alimentación, una banda transportadora conveyor, el sensor de color colocado estáticamente, el movimiento del subsistema de sujeción será por medio de un tronillo sin fin con guías lineales para su mejor movimiento, el subsistema de sujeción será mecánico y el proceso de visualización será por una pantalla HMI. Además, en la Figura 19, se presenta la alternativa representada en un modelo 3D.

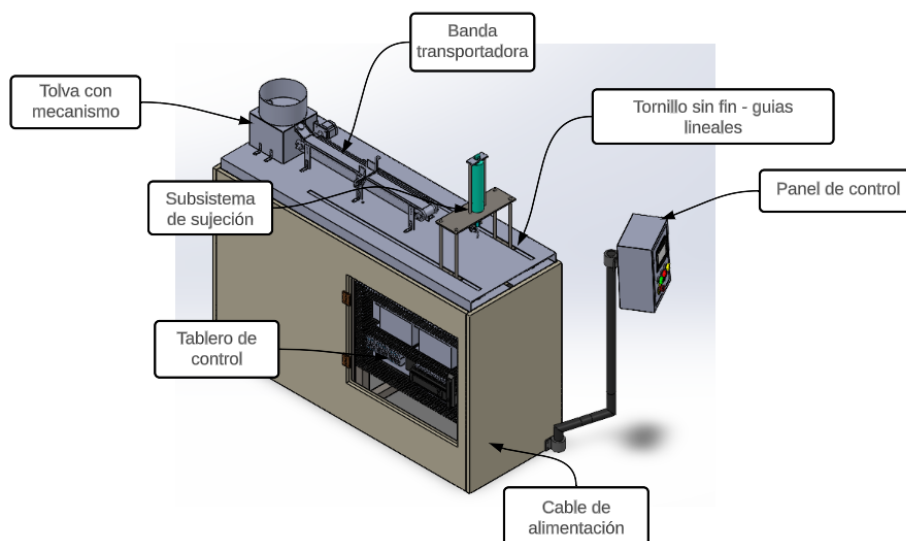


Figura 19. Modelado 3D de la alternativa seleccionada

7. Diseño Mecatrónico

En esta sección se presentan los procesos para la concepción de las etapas de materialización y de detalle del ciclo básico de diseño a partir de cálculos matemáticos, simulaciones (CAD), dimensionamiento de los sistemas, subsistemas, elementos, componentes que intervienen en el prototipo. Terminando con la adición de los siguientes anexos al presente documento, que consideran planos de conjunto, de despiece, electrónicos, informáticos y los catálogos de los componentes que requieren la compra de los mismos.

7.1. Diseño Mecánico

En esta subsección se presenta el diseño, dimensionamiento, análisis, simulación de los sistemas y elementos mecánicos que intervienen en el prototipo.

Diseño Estructural del prototipo

La estructura del prototipo debe ser capaz de soportar todo el peso del prototipo, así como el peso de todos sus elementos. A continuación, en la Figura 20 se presenta el diseño de la estructura en el software CAD. El diseño estructural se dividirá en partes que se comprobarán con cálculos, simulaciones o dimensionamientos. Una

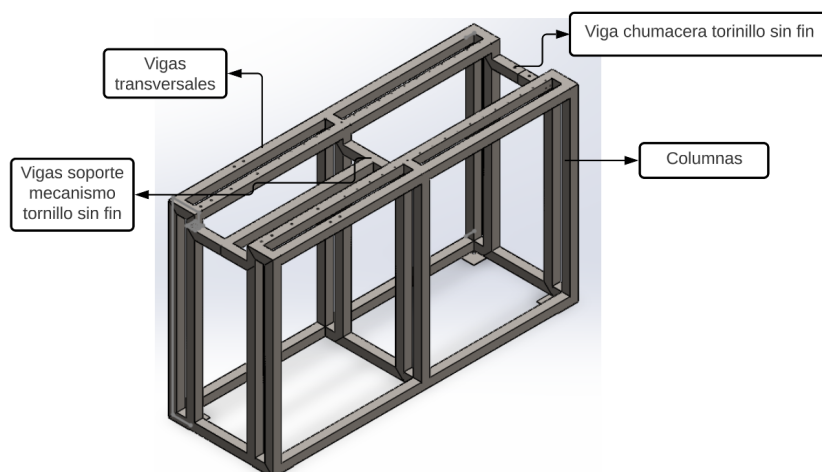


Figura 20. Modelado 3D estructura y sus partes

vez determinadas las partes se puede comenzar con el diseño de la estructura.

Para el diseño de la estructura se aceptó la recomendación de la empresa auspiciante de utilizar el catálogo de DIPAC para preseleccionar el tipo de tubo que va a conformar la estructura, así mismo para definir los parámetros y especificaciones del tubo a dimensionar (Anexo A). La estructura se diseñó de manera que sea estable y soporte todo el peso del prototipo, por lo que primero se dimensiona los tubos que soportan la estructura, se estima que los componentes que estén encima de la estructura tendrán un peso de 40 kg. A partir de este peso se empieza el cálculo de la carga total sobre los tubos columnas, esta carga se calcula con la ecuación (1).

$$P_t = m_t \cdot g \quad (1)$$

Donde

P_t carga total, en N

m_t masa total, en kg

g gravedad, constante 9,8 m/s²

$$P_t = 40 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$P_t = 392 \text{ N}$$

A continuación, se calcula la carga crítica P_{cr} que es definida por la fórmula de Euler para columnas que se puede observar en la ecuación (2) [22].

$$P_{cr} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \quad (2)$$

Donde

P_{cr} carga crítica, en N

E módulo de elasticidad, en GPa

I Inercia, m^4

l Longitud, m

C Constante condición de extremos

Se procede a calcular la carga crítica se requieren parámetros que se consideran a partir de la preselección de la viga, en este caso se considero al tubo estructural cuadrado de DIPAC con los siguientes parámetros: el módulo de elasticidad del Acero es de 207.5 GPa, Inercia de la viga $4.38 m^4$, longitud de la viga 0,90 m, y la constante C que depende de la condición de los extremos de la columna, este valor puede definirse a partir de la Tabla 12.

Tabla 12. Constante de condición final para columnas de Euler

[22]

Condiciones de extremos de columnas	Valor	Recomendado
Empotrado - Libre	C = 1/4	
Articulado - Articulado	C = 1	
Empotrado - Articulado	C = 1.2	
Empotrado - Empotrado	C = 1.2	

Según la Tabla 12, se define un valor de $C = 1.2$ con la condición de extremos Empotrado - Empotrado. Entonces se procede a calcular la carga crítica con los parámetros establecidos.

$$P_{cr} = \frac{1.2 \cdot \pi^2 \cdot 207.5 \cdot 1.02}{0.91^2}$$

$$P_{cr} = 13kN$$

. Con ambas cargas se puede calcular el factor de seguridad η (3)

$$\eta = \frac{P_{cr}}{P_t} \quad (3)$$

$$\eta = 33.15$$

Las columnas de la estructura son capaces de soportar la carga de 40 kg con un factor de seguridad e 33.15 siendo estas empotradas en ambos lados de la estructura y contando con 6 columnas principales a lo largo de la estructura principal. Una vez que se comprueba que las columnas de la estructura soportan el peso del prototipo se procede a realizar el dimensionamiento de la siguiente etapa que son las vigas transversales. A continuación, en la Figura 21 se puede observar el diagrama de cuerpo libre de la viga transversal. Como se puede observar la viga transversal es una viga hiperestática.

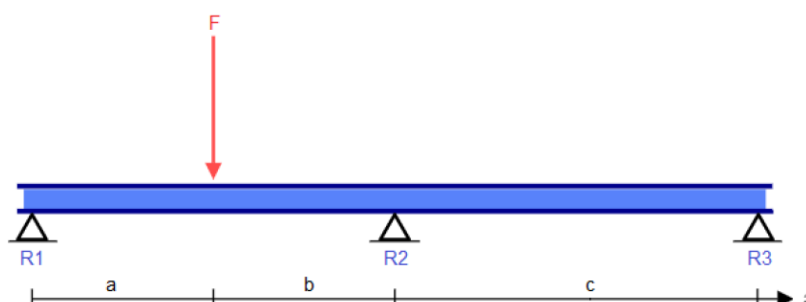


Figura 21. Representación de una viga hiperestática

Para el diseño de la viga, se considerarán los siguientes parámetros: la carga puntual a tener en cuenta es de 90 N, que representa la carga estimada a soportar en un solo lado de la estructura, aplicada en una longitud de $L=1/4 \cdot l$. En este caso, L será igual a 1/4 de 1460 mm. Las propiedades del material se tomarán del acero SAE J403 1008 Laminado en caliente, y para el diseño se utilizará la herramienta de pieza soldada en el software CAD.

- Caso 1: En el primer caso se considera la carga puntual a una longitud igual a $L=a$. A continuación, en las Figuras 22 - 23 se presentan los resultados de la simulación.

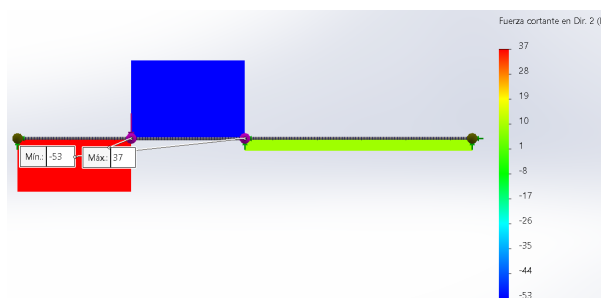


Figura 22. Diagrama de fuerza cortante Caso 1.

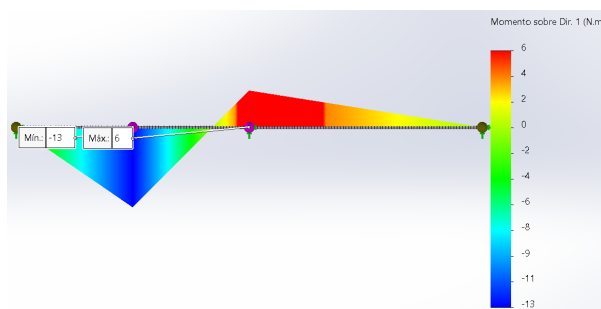


Figura 23. Diagrama de momento flector Caso 1.

- Caso 2: En el segundo caso se considera la carga puntual a una longitud igual a $L=1/2*c$. A continuación, en las Figuras 24 - 26 se presentan los resultados de la simulación.

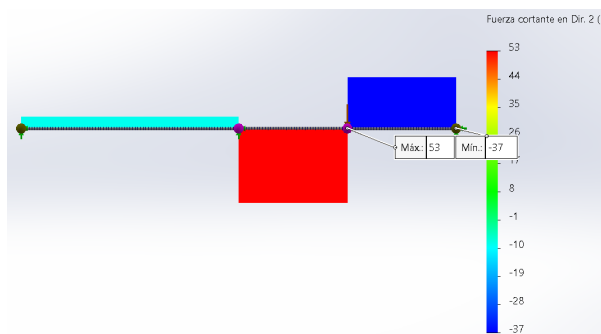


Figura 24. Diagrama de fuerza cortante Caso 2.

Con la ayuda de la simulación se determina los puntos más críticos de la viga transversal como se puede observar en las Figuras 23 y 26 el punto más crítico se presenta en el apoyo central en ambos casos independientemente de la ubicación de la carga. Además, se obtuvo una deflexión máxima de 0.37mm.

Adicionalmente para validar el diseño de las vigas tanto de soporte del tornillo como el soporte de chumacera de tornillo; Se realizan simulaciones con las que se pueden obtener las deflexiones máximas con las que se puede determinar si la viga selec-

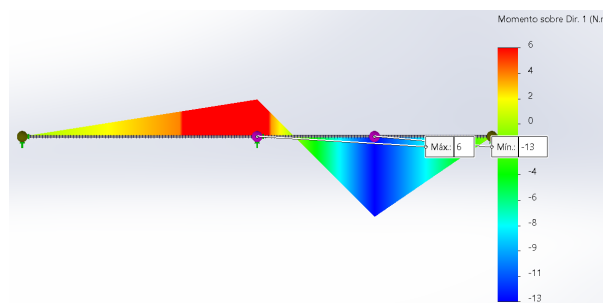


Figura 25. Diagrama de momento flector Caso 2.

cionada es idonea.

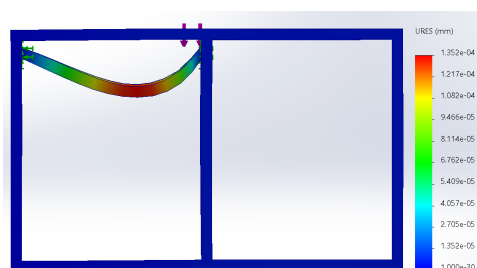


Figura 26. Resultados de simulación deflexión máxima viga soporte tornillo

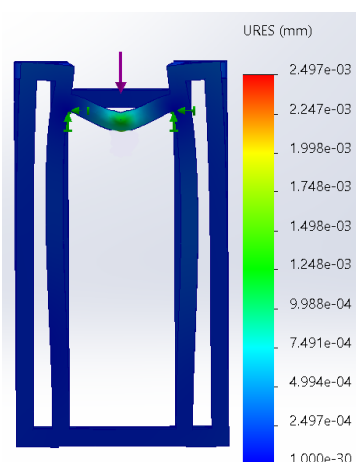


Figura 27. Resultados de simulación máxima viga soporte chumacera tornillo

Considerando los resultados presentes en las Figuras 26 y 27 con una deflexión máxima de 1.352×10^{-4} mm para la viga que soporta el tornillo y una deflexión máxima de 9.98×10^{-4} mm para la viga que soporta la chumacera, se puede validar que el tubo estructural preseleccionado para las vigas de la estructura es idóneo, por lo que el tubo seleccionado del catálogo de DIPAC (Anexo A) es:

- Tipo: Tubo estructural cuadrado
- Dimensiones: $A = 40$ mm, $t = 1.2$, $I = 4.38 \text{ cm}^4$

- Material:SAE J403 1008 Laminado en caliente

Diseño Subsistema PickPlace

El modelado realizado en un software CAD se puede observar en la Figura 28, con las partes más importantes de este subsistema. Para validar el diseño de este subsistema

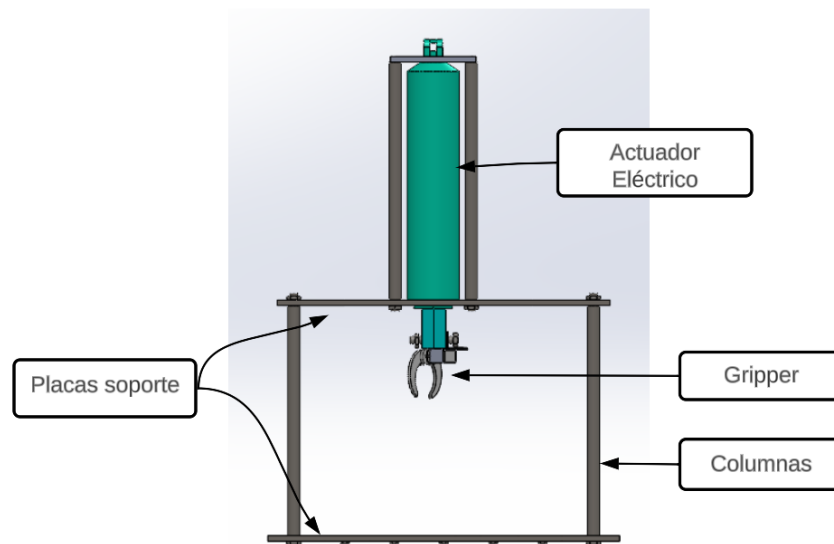


Figura 28. Subsistema Pick&Place

se realizarán cálculos y simulaciones.

1. Columnas: Para las columnas se preseleccionó varillas de acero de 2.7 mm de diámetro con un módulo de elasticidad de 200 GPa y una inercia de $0.67m^4$. Con estos parámetros se calcula el factor de seguridad de las columnas por que para el cálculo se utiliza las ecuaciones (1), (2), (3).

$$P_t = 3.68 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$P_t = 36.01 \text{ N}$$

$$P_{cr} = \frac{1.2 \cdot \pi^2 \cdot 200 \cdot 0.67}{0.27^2}$$

$$P_{cr} = 2.27kN$$

$$\eta = 63.03$$

- . Con este factor de seguridad considerando que el peso a soportar por las columnas es pequeño y las varillas dimensionadas son capaces de soportar este peso y la estructura es estable.

2. Placas soporte: Para las placas soporte se considero placas de acero inoxidable de 2.2 mm. Para validar el diseño de estas placas se realizarán simulaciones considerando los parámetros del material. Se realizó una simulación en un software CAD para verificar que el diseño de las placas es idóneo o no.

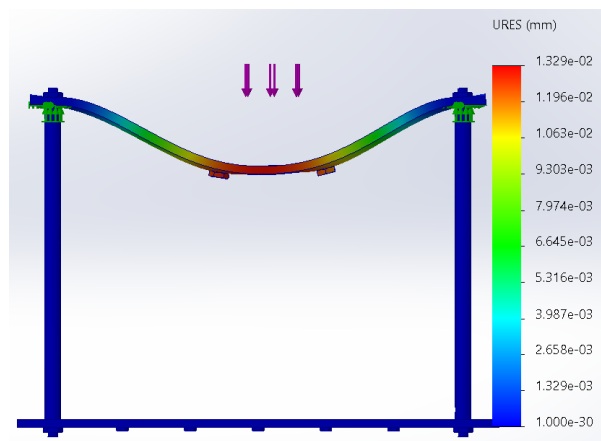


Figura 29. Simulación estructura subsistema Pick&Place

Con los resultados obtenidos de la simulación, Figura 29, se puede observar que la deflexión máxima es de 0.013 mm por lo que podemos determinar que las placas predispuestas por la empresa auspiciante son idoneas para su uso en el presente diseño.

3. Actuador eléctrico: Para el dimensionamiento del actuador eléctrico, es crucial dar prioridad a la velocidad del pistón. Con este propósito, se solicitó la guía de la empresa patrocinadora, la cual me otorgó acceso al catálogo de Firgelli Automations (Anexo B). En dicho catálogo, se logró seleccionar el actuador ideal para la aplicación al enfocarnos especialmente en la velocidad. Esto se debe a que cuanto más rápido descienda el pistón, menor será el tiempo de respuesta del subsistema de traslación. Cabe mencionar que la velocidad del pistón está condicionada por la carga que desplaza, siendo en este caso solamente el elemento de sujeción, el cual pesa 12 g. A partir del Anexo B, podemos determinar la ecuación de velocidad del actuador y, mediante un análisis de tendencias, logramos obtener la ecuación (4)

$$V = -0.205 \cdot C + 4.5 \quad (4)$$

Donde

V Velocidad del actuador, en in/s

C Carga que mueve el actuador, en lbs

$$V = -0.205 \cdot 0.026 + 4.5$$

$$V = 4.49 \text{ in/s}$$

A continuación, se presenta en la Tabla 13, las especificaciones del actuador lineal.

Tabla 13. Especificaciones Actuador lineal High Speed Linaer Actuador

Especificaciones	Valor
Voltaje	12 V
Corriente	5 A
Velocidad	4.5 in/s
Fuerza Estática	22 lb

El actuador se controla a partir de las posiciones set que es cuando el pistón sale y reset que es cuando el pistón regresa si se habla de entorno de programación LD, pero para su mejor control se requiere de dos fines de carrera para determinar en que posición se encuentra el pistón .adicionalmente se requiere modificar el pistón para acoplar el mecanismo de sujeción.

4. Mecanismo de Sujeción: Para el mecanismo de sujeción se selecciona un gripper de dos dedos por lo que en este apartado se dimensionara y diseñara el gripper adecuado para la aplicación. El diseño de una pinza/ gripper requiere el análisis de ciertas consideraciones que ayudaran al buen funcionamiento de la pinza estos se detallan de mejor manera. [23]
 - Forma del objeto: Como primera instancia, se tiene la forma del objeto ya que, el tipo de pinza/gripper depende de la forma, dureza y superficie del objeto a sujetar y posteriormente movilizar.

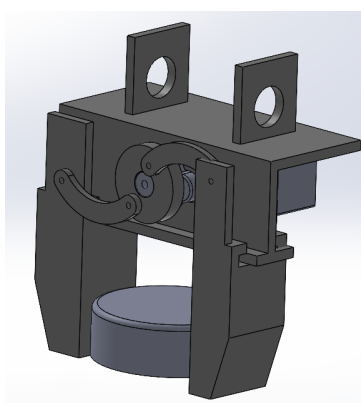
- **Peso del objeto:** El peso es un parámetro importante por que es lo que define a fuerza de agarre, lo que es importante para transportar el objeto con total seguridad sin riesgo a causar algún daño.
- **Orientación y dimensiones** Definir la orientación y la distancia es importante ya que, las dimensiones de las mordazas o dedos deben ser proporcionales al tamaño del objeto a emplear
- **Velocidad** Definir tanto la velocidad, aceleración, desaceleración es importante para evitar la inestabilidad de la pinza/gripper.
- **Longitud del mecanizado** El mecanizado de las mordazas es un parámetro importante porque dependen de la forma del objeto y así no afectar de manera considerable al diseño.
- **Configuración de herramientas:** En esta parte se determina como será el agarre, si el agarre será encapsulado, la fuerza de sujeción necesaria será menor si se compara a la fuerza ejercida si solo se toman por las partes planas de la pinza.
- **Retención del objeto** Se determina la manera en que se va a retener el objeto esto dependerá de la aplicación ya que puede ser por medios mecánicos o por software.
- **Funcionamiento síncrono:** se determina si los dedos/mordazas trabajan al mismo tiempo o si talvez trabajan por separado ya que existen muchas pinzas/grippers que lo hacen.

Con estos parámetros se puede realizar un buen dimensionamiento. A continuación, en la Tabla 14 se detallan estos parámetros.

Tabla 14. Parámetros de diseño gripper

Parámetro	Descripción
Forma del objeto	Tapa de plástico de 3cm de diámetro externo y 1 cm de altura
Peso de objeto	3 g
Abertura máxima de los dedos	34 mm
Velocidad	Dictada por el controlador
Longitud del mecanizado de los dedos	33.5 mm
Retención del objeto	Aproximadamente 20 s suficiente para tomar la tapa y llevarla a su deposito.
Funcionamiento síncrono	Si, el gripper cuenta con un cilindro motriz que mueva ambos dedos
Cambio de herramienta	En caso de que se dañe alguna parte de los dedos se puede desmontar y volver a montar.

A partir de los parámetros definidos en la Tabla 14, se procede a realizar el diseño en un software CAD. Figura 30.

**Figura 30.** Modelo 3D Gripper

Debido a la complejidad geométrica de las piezas que constituyen el Gripper, se ha optado por utilizar ácido poliláctico (PLA) como material y la impresión 3D como método de fabricación. Además, su asequibilidad para la producción de piezas de alta complejidad lo convierte en una alternativa superior al mecan-

izado, que resulta considerablemente más costoso y genera un mayor desperdicio de material.

Posteriormente, se procede a validar el diseño mediante cálculos que determinan el elemento motriz del Gripper. Es importante señalar que dicho elemento debe tener la capacidad de mover ambos dedos de forma simultánea. En consecuencia, se lleva a cabo un análisis específico para cada dedo, con el fin de verificar el torque necesario para lograr su movimiento.

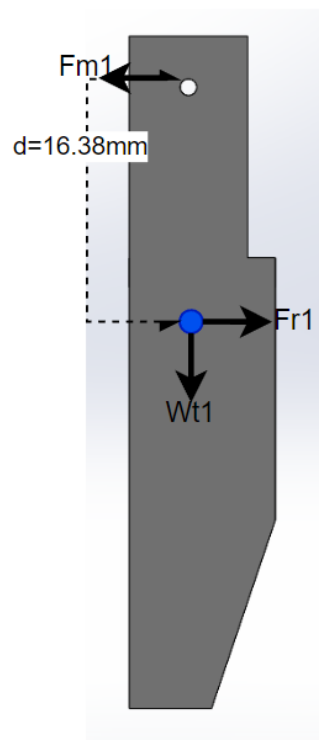


Figura 31. DCL Dedo 1

Una vez considerado el DCL se puede comenzar con los cálculos de las fuerzas considerando los siguientes datos iniciales:

Datos:

Masa , $m = 4.95 \times 10^{-3} \text{ kg}$

Coefficiente de fricción, $\mu = 0.3$

Velocidad, $v = 16.66 \text{ mm/s}$

$$W_{t1} = m \cdot g$$

$$W_{t1} = 4.95 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_{t1} = 0.05N$$

. Ahora se realiza una sumatoria de fuerzas en x para poder determinar la Fuerza F_{m1} . Considerando que la fuerza de rozamiento es representada por la ecuación (5)

$$\begin{aligned}\sum_{Fx} &= m \cdot a \\ F_{m1} - F_r &= m \cdot a \\ F_{m1} - (\mu \cdot F_{m1}) &= m \cdot a\end{aligned}$$

. Despejando F_{m2} , nos queda la siguiente expresión.

$$F_{m2} = \frac{m \cdot a}{1 - \mu}$$

.

Reemplazando valores nos queda:

$$\begin{aligned}F_{m1} &= \frac{4.95 \times 10^{-3} \cdot (16.66 \times 10^{-3} m/s / 0.48s)}{1 - 0.3} \\ F_{m1} &= 0.00024N\end{aligned}$$

. Una vez conocida la Fuerza necesaria para mover el dedo 1 se procede a calcular el torque necesario con la siguiente ecuación.

$$T = \frac{F_{m1} \cdot d}{\text{sen}\theta} \quad (5)$$

Donde

F_{m1} Fuerza Normal , en N

T Torque, en N·m

θ Ángulo de apertura, en grados

d Longitud de dedo, en m

Con una fuerza normal de 0.00024 N, un ángulo de apertura de 30°, y una longitud de dedo de 16.38 mm. El torque necesario del dedo 1 es:

$$T1 = \frac{0.00024 \cdot 16.38 \times 10^{-3}}{\text{sen}30}$$

$$T1 = 0.0009 N \cdot mm$$

Ahora se procede a realizar el análisis con el otro dedo con el siguiente DCL.

Figura 32.

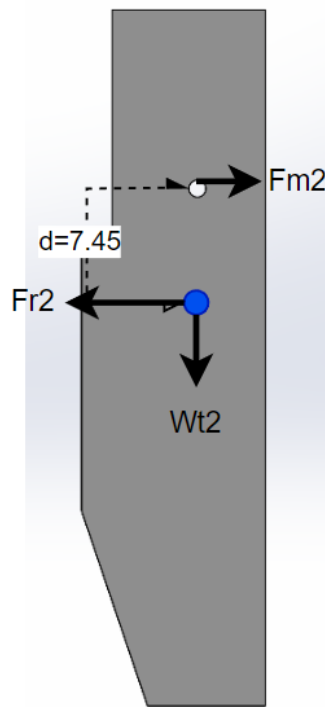


Figura 32. DCL Dedo 2

Una vez considerado el DCL se puede comenzar con los cálculos de las fuerzas considerando los siguientes datos iniciales:

Datos:

Masa , $m = 6.17 \times 10^{-3} kg$

Coefficiente de fricción, $\mu = 0.3$

Velocidad, $v = 16 mm/s$

$$W_{t1} = m \cdot g$$

$$W_{t1} = 6.17 \times 10^{-3} kg \cdot 9.81 m/s^2$$

$$W_{t1} = 0.06 N$$

. Ahora se realiza una sumatoria de fuerzas en x para poder determinar la Fuerza F_{m2} . Considerando que la fuerza de rozamiento es representada por la ecuación (5)

$$F_r = \mu \cdot F_m \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sum_{Fx} &= m \cdot a \\ F_{m2} - F_r &= m \cdot a \\ F_{m2} - (\mu \cdot F_{m2}) &= m \cdot a \end{aligned}$$

. Despejando F_{m2} , nos queda la siguiente expresión.

$$F_{m2} = \frac{m \cdot a}{1 - \mu}$$

.

Reemplazando valores nos queda:

$$\begin{aligned} F_{m1} &= \frac{6.17 \times 10^{-3} \cdot (16.66 \times 10^{-3} \text{ m/s} / 0.48 \text{ s})}{1 - 0.3} \\ F_{m2} &= 0.00031 \text{ N} \end{aligned}$$

. Una vez conocida la Fuerza necesaria para mover el dedo 1 se procede a calcular el torque necesario con la siguiente ecuación.

$$T = \frac{F_{m2} \cdot d}{\text{sen}\theta} \quad (7)$$

Donde

F_{m2} Fuerza Normal , en N

T Torque, en N·m

θ Ángulo de apertura, en grados

d Longitud de dedo, en m

Con una fuerza normal de 0.00031 N, un ángulo de apertura de 30°, y una longitud de dedo de 7.45 mm. El torque necesario del dedo 2 es:

$$T2 = \frac{0.00031 \cdot 7.45 \times 10^{-3}}{\text{sen}-30}$$

$$T2 = 0.004N \cdot mm$$

Con los dos torques se procede a sumarlos para obtener el torque necesario para mover a los dos dedos.

$$T_t = T1 + T2$$

$$T_t = 0.009 + 0.004$$

$$T_t = 0.013N \cdot mm$$

Con el torque total se puede seleccionar el elemento motriz del gripper. Para la aplicación dado las dimensiones y las especificaciones se procede a seleccionar un microservo con las siguientes especificaciones. Anexo C.

Tabla 15. Especificaciones microservo SG-90

Parámetro	Descripción
Dimensiones	26mm·13mm · 24mm
Peso	9 g
Velocidad de operación	0.12s/60grados(4.8V)
Torque	117.68 N·mm
Voltaje de operación	4.8-6 V

Diseño subsistema de traslación

El subsistema de traslación esta compuesto por componentes principales y componentes de apoyo. Entre los cuales podemos encontrar al mecanismo Tornillo - Tuerca, elemento motriz, es decir, motor o servo motor que va a mover el husillo, así también podemos encontrar guías lineales para el soporte de movimiento requerido por la aplicación, soporte de fijación.

- (a) Guías lineales: El uso de guías lineales tiene la finalidad de soportar el peso del subsistema Pick&Place, así como reducir el coeficiente de fricción del subsistema. Con el apoyo de las guías lineales reducirá la carga axial que debe soportar el mecanismo tornillo - tuerca, por lo tanto la potencia del elemento motriz sea mínima.

Para el correcto dimensionamiento de este elemento se debe considerar la velocidad a la que se va a mover el subsistema y la carga que va a soportar. una vez conocidos estos parámetros podemos realizar el cálculo de vida útil por fatiga ecuación (9).

$$L = \left(\frac{f_c \cdot C}{f_v \cdot P} \right)^3 \cdot 50 \quad (8)$$

Donde

L Vida útil por fatiga, en km

C Relación de carga dinámica básica , en N

P Carga aplicada, en N

f_c factor de contacto

f_v factor de carga

Considerando esta ecuación los factores tanto de carga y de contacto serán tomados del catálogo recomendado por la empresa HepcoMotion HLG guías lineales de Hepco (Anexo D), es decir, para el dimensionamiento se utilizarán las tablas 16 y 17 que se presentan, a continuación.

Tabla 16. Factor de contacto f_c para guías lineales

N de bloques en contacto	Factor de contacto f_c
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61
6	0.60

Tabla 17. Factor de carga f_v para guías lineales

Condición de impacto y vibración	Velocidad	f_v
Sin impacto o vibraciones externa	$V \leq 5\text{m/min}$	1 - 1.5
Impactos y vibraciones ligeros	$15 < V \leq 60\text{m/min}$	1.5 - 2
Impactos y vibraciones medias	$V > 60\text{m/min}$	2 - 3.5

Además, se requiere el cálculo de la resistencia a la fricción que se puede calcular con la ecuación (10).

$$F = \mu \cdot P + f_s \quad (9)$$

Donde

F Resistencia a la fricción, en N

μ Factor de fricción

P Carga aplicada, en N

f_s Resistencia de sellado

Un vez conocidas las ecuaciones principales y tablas que se van a utilizar para el dimensionamiento se desarrolla un análisis dinámico del subsistema que esta sobre las guías lineales.

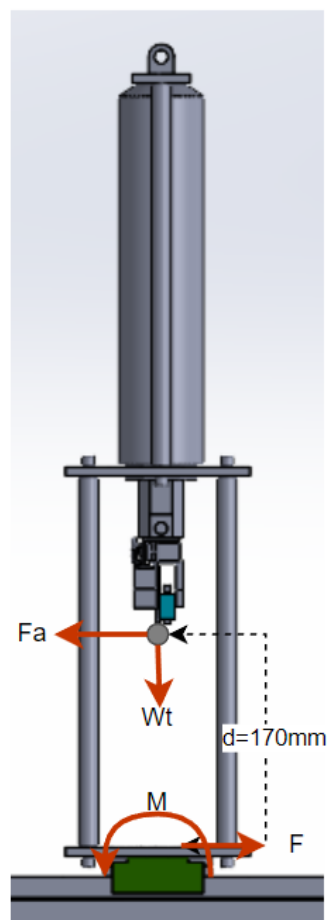


Figura 33. DCL Subsistema pick&place

A partir del DCL, Figura 33, se puede determinar algunas fuerzas como el peso total, la fuerza de avance (la fuerza necesaria para mover el subsistema), la aceleración, el momento, y por último calcular la vida útil de fátiga, a continuación, se presenta el desarrollo de este análisis.

Datos iniciales:

$$W = 3.90kg$$

$$\mu = 0.008, \text{ Determinado a partir del Anexo D}$$

$$f_s = 2, \text{ Determinado a partir del Anexo D}$$

$$P = 3.90kg \cdot 9.8m/s^2$$

- Con el peso total podemos calcular el peso que recae en cada una de las guías

$$W_t = \frac{3.90 \cdot 9.8}{2}$$

$$W_t = 19.11N$$

- Con la fórmula (9) se calcula la fuerza de fricción

$$F = 0.008 \cdot (3.90 \cdot 9.8) + (2 * 2)$$

$$F = 4.3N$$

- A continuación, se calcula la aceleración se calcula con una velocidad máxima de 8.75 cm/s y un tiempo de 0.25s. Ahora se realiza una sumatoria de fuerzas para determinar la fuerza de avance.

$$a = \frac{0.00875}{0.25}$$

$$a = 0.3m/s^2$$

$$\sum F_x = m \cdot a$$

$$F_a - F = m \cdot a$$

$$F_a = m \cdot a + F$$

$$F_a = 3.9 \cdot 0.3 + 4.3$$

$$F_a = 8.5N$$

- Con la fuerza de avance se puede calcular el momento de torque (11).
Con la fuerza de avance y distancia del centro de gravedad

$$M = F_a \cdot d \quad (10)$$

$$M = 8.5 \cdot 0,17$$

$$M = 1.45N \cdot m$$

- Por último, se calcula la vida útil de la guía lineal. Ecuación (9)

$$L = \left(\frac{0.81 \cdot 990}{2 \cdot 4.3}\right)^3 \cdot 50$$

$$L = 40.53 \times 10^6 \text{ km}$$

Con los resultados obtenidos podemos seleccionar las dos guías lineales que se van a utilizar en el prototipo se puede observar en la Figura 34.

Nº de Ref.	Dimensiones Externas			Dimensiones del bloque HLG								H3
	Altura H	Anchura W	Longitud L	B	C	M x l	L1	T	N	E	Engranaje	
HIGS15C	24	34	40.2	26	-	M4 x 6	24	6	6	5.5	A-M4	4.5
HIGS15R			56.9		26		40.7					

Figura 34. Extracto Anexo D (Guía lineal seleccionada)

- (b) Mecanismo Tornillo - Tuerca: Para realizar la correcta dimension de este mecanismo se procede a utilizar el catálogo HepcoMotion BSP (Husillos de bolas premier) Anexo E, en el mismo que podemos encontrar gráficas en función de parámetros críticos como lo es la velocidad angular y la carga axial. Para calcular la velocidad angular solo debemos convertir la velocidad lineal a angular por lo que utilizamos la ecuación (12).

$$n = \frac{v}{p} \cdot 10^3 \quad (11)$$

Donde

n Velocidad angular, en rpm

v velocidad lineal, en m/min

p avance, en mm

Por recomendación de la empresa auspiciante se opto por un avance de 10 mm, el valor de la velocidad es de 0.00875 m/s, con estos datos se puede calcular la velocidad angular.

$$n = \frac{0.0875 \cdot 60}{10} \cdot 10^3$$

$$n = 525 \text{rpm}$$

Con una velocidad angular que en este caso es el parámetro crítico de selección, con longitud libre de 0.8 m, con apoyos fijos en los extremos se puede seleccionar el tornillo. Con el apoyo de la empresa auspiciante se selecciono el siguiente tornillo. Con estos parámetros se puede realizar el

Tuerca Nº de Ref.	Max longitud L (C5)	Max longitud L (C7) *	DH	P	A	B	C	D	E	F	G	H	Carga dinámica Ca (kN)	Carga estática Coa (kN)	K
*BSPS1605R	800	2800	16	5	48	28	50	10	5.5	38	40	M6	7.8	17.9	200
(1)*BSPS1610R	800	2800	16	10	48	28	57	10	5.5	38	40	M6	7.21	12.49	150
(1)*BSPS2005R	1000	2800	20	5	58	36	51	10	6.6	47	44	M6	11.3	23.8	250
(1)*BSPS2505R	1500	2800	25	5	62	40	51	10	6.6	51	48	M6	12.8	31.1	350
*BSPS2510R	1500	2800	25	10	62	40	85	12	6.6	51	48	M6	19.4	38.7	330

Figura 35. Extracto Anexo E (Tornillo seleccionado)

cálculo de vida útil en revoluciones con la ecuación (13)

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{F}\right)^3 \cdot 10^6 \quad (12)$$

Donde

L_{10} Vida útil, en revoluciones

F Carga media, en Kn

C_a Capacidad dinámica, en kN

$$L_{10} = \left(\frac{19.4}{3.90 \cdot 9.81}\right)^3 \cdot 10^6$$

$$L_{10} = 1.304 \times 10^{14} \text{rev}$$

- (c) Elemento motriz: Una vez seleccionado el mecanismo tornillo - tuerca se puede calcular el torque, necesario para la selección del elemento motriz.

Por recomendación de la empresa auspiciante se decidió utilizar un servo motor y drive de control correspondiente. El torque se calcula con la ecuación (14).

$$T_{in} = \frac{F \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad (13)$$

Donde

T_{in} Momento de entrada, en Nm

F Carga operativa, en N

P Avance, en mm

η Eficiencia

$$T_{in} = \frac{(3.90 \cdot 9.8) \cdot 10}{2000 \cdot \pi \cdot 0.8}$$

$$T_{in} = 0.08 \text{ N} \cdot \text{m}$$

A continuación, se presentan las especificaciones del servo motor seleccionado. Anexo F.

Tabla 18. Especificaciones motor integrado ISV57T-180

Especificación	Valor
Potencia nominal	180 W
Voltaje Nominal	36 Vdc
Velocidad Nominal	3000 rpm
Torque nominal	0.6 N·m

Dimensionamiento Tolva con mecanismo

Una vez analizada la alternativa de tener una tolva con mecanismo, se decide diseñar una tolva con mecanismo rotativo el mismo que nos brindara una alimentación constante y eficiente.

Considerando que como prototipo se va procesar lotes de 20 a 25 tapas el presente diseño se presenta como la opción más idonea para la aplicación. El modelado 3D de la tolva se presenta en la Figura 36.

Para dimensionar lo que denominamos como tolva debemos conocer el peso neto de una tapa que es de aproximadamente de 2g por tapa considerando la

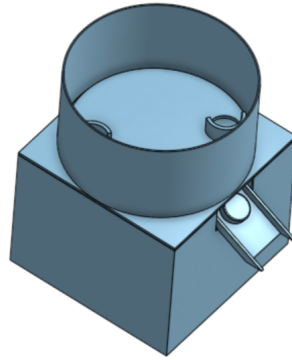


Figura 36. Modelado 3D tolva con mecanismo

cantidad de tapas que la tolva va a contener se procede a calcular el peso total que sería simplemente multiplicando las 25 tapas por el peso, $m = 25 \cdot 3 = 75 \text{ g}$, ahora con la densidad del polipropileno de 0.90 g/cm^3 . Con estos datos podemos calcular el volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (14)$$

Donde

ρ densidad, en kg/m^3 ;

m masa, en kg;

V volumen, en m^3 .

Despejando y reemplazando en (34) se obtiene:

$$\begin{aligned} V &= \frac{m}{\rho} \\ V &= \frac{75}{0.9} \\ V &= 83.3 \text{ cm}^3 \\ V &= 8.33e - 5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Con el volumen de las tapas podemos calcular las dimensiones de la tolva cilíndrica con la siguiente ecuación. Considerando los siguientes parámetros el radio interior debe ser $R=0.3\text{cm}$, y la altura debe ser $R/2$, reemplazando los valores de relación en la ecuación de volumen de un cilindro hueco nos queda la siguiente ecuación cuadrática con valores de

$$0 = 0.3 \cdot \pi \cdot R^2 - 0.45 \cdot R - V \quad (15)$$

Donde

V volumen, en cm^3 ;

R masa, en cm;

Resolviendo la ecuación cuadrática se obtienen valores de 9.66 cm para el radio exterior, de 9.36 para el radio interior y de 5 cm para la altura. Considerando la eficiencia del diseño se decide aproximar los valores según el material a fabricar.

$$R = 10 \text{ cm}$$

$$r = 9.7 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

Con las dimensiones de la tolva cilíndrica podemos analizar el mecanismo de rotación que podemos observar en la siguiente imagen (Figura 38). EL mecan-

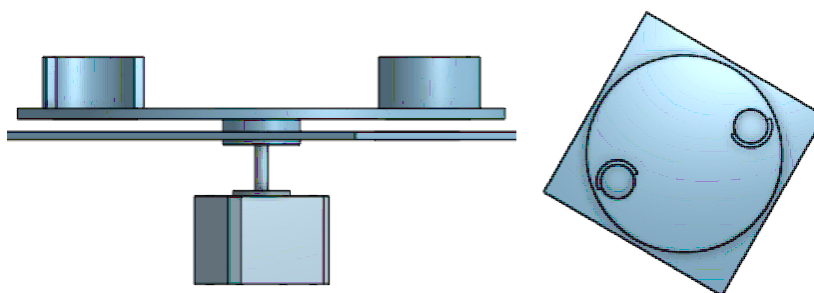


Figura 37. Mecanismo rotatorio

ismo de rotación consta de dos componentes importantes, la pieza dosificadora de tapas que es una pieza circular que dada su compleja geometría la mejor opción para su implementación es la impresión 3D, y el otro componente es el motor que es el elemento más importante en el mecanismo rotatorio, ya que es el encargado de mover la pieza y las tapas. Por lo que se analiza el torque necesario para mover la pieza y así seleccionar. Con ecuación (11). Obteniendo el siguiente resultado.

$$M = F \cdot d$$

$$M = 0.735 \cdot 0.095$$

$$M = 0.07N \cdot m$$

Una vez conocido el Momento se procede a calcular el torque necesario con la siguiente ecuación:

$$T = M \cdot \text{sen}(\theta) \quad (16)$$

Con el momento conocido y un ángulo de 90 °, nos queda un torque de:

$$T = 0.07N \cdot m \cdot \text{sen}(90)$$

$$T = 0.07N \cdot m$$

Considerando el torque y la disponibilidad de la empresa auspiciante se selecciona un Motor a pasos Nema 17. Anexo G. A continuación, se presenta una tabla con los parámetros más importantes del motor seleccionado.

Tabla 19. Parámetros relevantes del motor a pasos NEMA 17

Parámetro	Valor
Voltaje	24 V
Corriente	1.7 A
Ángulo de paso	1.8°
Torque Nominal	0.31 N·m

Diseño banda transportadora

Existen una gran variedad de formas en la que se transportan materiales de un lado a otro, y una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas, ya que este medio contempla una sencillez de funcionamiento y una vez instaladas en condiciones normales suelen generar pocos problemas [24]

En el presente proyecto se diseñará una banda transportadora horizontal, cuyo análisis se presenta a continuación:

Parámetros iniciales: Los parámetros iniciales que se deben considerar para realizar el diseño de la banda transportadora son los siguientes:

$l = 0.7m$, longitud entre rodillos

$c_t = 8$, cantidad de tapas sobre la banda

$w_t = 2g$, peso de una tapa

$w_T = 2g \cdot 8 = 16g$, peso total de tapas en la banda

$t = 15s$, tiempo de recorrido

$P_b = 1540mm$, Perimetro de banda

Selección de banda: Con el perimetro de banda podemos comenzar la selección de la banda, por recomendación de la empresa auspiciante se tuvo contacto con un proveedor de confianza. El proveedor es Bandas Y Bandas, una vez explicados los parámetros iniciales y las dimensiones correctas, nos recomendaron el uso de una banda de PVC con lona de nylon que es idonea para la presente aplicación. Las especificaciones de la banda se pueden observar en el Anexo H.

Dimensionamiento tambor motriz: Con la banda seleccionada se procede a calcular el diametro minimo del tambor motriz con la ecuación (17)

$$d_A = \frac{F_u \cdot C_a \cdot 180}{b_a \cdot \beta} \quad (17)$$

Donde

d_A diametro mínimo tambor motriz, en mm

F_u fuerza tangencial, en N

C_a factor de cálculo válido para tambor motriz, en N

b_a ancho de banda, en mm

β ángulo de contacto, 180

Reemplazando los valores conocidos nos da un diametro mínimo de:

$$d_A = \frac{0.16 \cdot 25 \cdot 180}{50 \cdot 180}$$

$$d_A = 0.08mm$$

Dado que el diámetro calculado no es factible para la implementación, se ha optado por establecer un diámetro externo de 42 mm. Además, se considero un diametro interior de 8 mm considerando su fabricación.

Una vez determinado el diametro se puede dimensionar el ancho del tambor con tabla 20. [24]

Tabla 20. Dimensiones del tambor

Ancho de banda	Ancho de tambor
$b_a \leq 100mm$	$b = b_a + 20mm$
$b_a > 100mm$	$b = (1.08 \cdot b_a) + 12mm$

Al ser el ancho de banda menor a 100 mm se puede calcular el ancho del tambor a partir de la ecuación presentada en la Tabla 19.

$$b = 50 + 20$$

$$b = 70mm$$

Con el ancho y el diametro se puede calcular el volumen del tambor con la ecuación de volumen de un cilindro hueco.

$$V_t = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot h$$

$$V_t = \frac{\pi}{4} \cdot (42^2 - 9^2) \cdot 70$$

$$V_t = 92527.76mm^3$$

$$V_t = 0.000093m^3$$

La masa del tambor se obtiene a partir del software CAD como punto de partida, para determinar la densidad del material que va a formar el Tambor. La densidad se calcula con la siguiente ecuación.

$$\delta = \frac{m}{V}$$

$$\delta = \frac{0.116kg}{0.000093m^3}$$

$$\delta = 1247.31 \frac{kg}{m^3}$$

Con la densidad del material se puede seleccionar el material del tambor. Para determinar el material se consideraron los siguientes parámetros: La densidad del material, Costo, y su maleabilidad. Por lo que el material seleccionado es PLA, ya que cumple con las tres condiciones principalmente el costo de fabricación. Ya que el mecanizado de piezas eleva mucho su valor.

Armado de rodillos: Una vez definidas las dimensiones y material del tambor se procede a armar los rodillos, que son formados por tres componentes, que son el tambor, el eje, y una pieza que es la que une al eje y al tambor. El eje se realizó a partir de un retazo de varilla de metal disponible en la empresa auspiciante, por otro lado la pieza que une al tambor con el eje es realizada con chapa de acero negro cortada a laser por disponibilidad de la empresa auspiciante. Figura 38

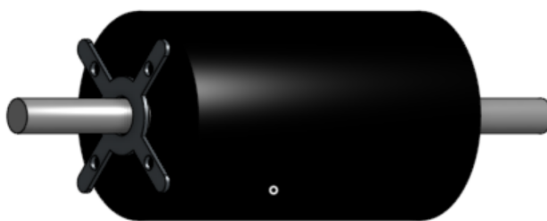


Figura 38. Rodillos

Selección chumaceras: Este dimensionamiento se lo realiza de manera que estas resistan la capacidad de carga estática generada por las cargas y fuerzas en los ejes de los tambores y estas se dimensionan con la ecuación (18) [24].

$$C_o = S_o \cdot P_o \quad (18)$$

Donde

C_o Capacidad de carga estática, en N

S_o Carga estática eq, en N

P_o factor de seguridad estatico, 1.3

$$C_o = 0.1372 \cdot 1.3$$

$$C_o = 0.17N$$

Con esta carga estática podemos seleccionar una chumacera disponible en el mercado, y se selecciona una chumacera ovalada tipo pared 8mm KFL08, con una gran disponibilidad en el mercado.

Estructura de la banda: Para la estructura de la banda se considero el uso de chapa de acero negro de 1.1 mm de espesor, y unas L de acero inoxidable como soportes y sujeciones a la base del prototipo. A continuación, se presenta el modelo 3D de la estructura de la banda. Figura 40.

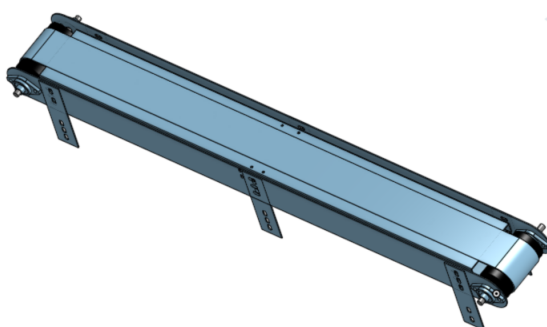


Figura 39. Estructura Banda

Con la estructura predefinida se procede a realizar algunos cálculos que justifiquen los diseños realizados. Los cálculos ayudarán a realizar la selección del elemento que va a mover la banda. Lo primero que calcularemos es la capacidad de transporte, la misma que se calcula con la ecuación (19).

$$Q_t = 3600 \cdot v \cdot A \cdot \rho \cdot k \quad (19)$$

Donde

- Q_t Capacidad de transporte, en $\frac{Ton}{h}$
- v Velocidad de la banda, $0.02 \frac{m}{s}$
- A Área transversal del material, $0.00071 m^2$
- ρ Densidad, $1.074 \frac{Ton}{m^3}$
- k Factor de inclinación, $k=1$

Reemplazando los datos correspondientes podemos calcular la capacidad de transporte.

$$Q_t = 3600 \cdot 0.02 \cdot 0.071 \cdot 1.074 \cdot 1$$

$$Q_t = 0.054 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Con este valor podemos estimar que puede transportar varias tapas en un ciclo.

Ahora, se calcula las fuerzas presentes en la banda, que permiten el transporte de un objeto de un lugar a otro y estas fuerzas son: Fuerza de la banda sin carga, Fuerza para desplegar una carga.

(a) **Fuerza de la banda sin carga:** Para el cálculo de esta fuerza se considera la ecuación (20)

$$F_{b1} = C \cdot f \cdot L \cdot G \cdot g \quad (20)$$

Donde

F_{b1} Fuerza de la banda, en N

C Factor de fricción por longitud de banda

f Factor de fricción de los elementos

L Longitud total de la banda, en m

G Peso de las partes móviles, en $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$

g Gravedad, $9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Antes de calcular la fuerza se debe conocer los factores, por lo que se empieza por calcular el factor de fricción por longitud de banda C , que se calcula con la ecuación (21) [22]

$$C = (15.9 \cdot L^{-0.61}) + 0.77 \quad (21)$$

Siendo L la longitud de la banda que es igual a 0.7 m se tiene un factor de:

$$C = (15.9 \cdot 0.7^{-0.61}) + 0.77$$

$$C = 20.53 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

El coeficiente de fricción de elementos giratorios se puede tomar a partir de la Tabla 21.

Tabla 21. Coeficiente de fricción por elementos móviles

Característica	Coeficiente
Rodillos de marcha suave y pequeña fricción interna del material	0.017
Bandas transportadoras con ambiente normal de trabajo	0.020
Condiciones de marcha en mala condición	0.023-0.030
Transporte descendente que requiere frenado	0.012

A partir de la Tabla 21, se considera que la banda tiene ambiente normal de trabajo por lo que $f=0.020$.

Por último, el peso de los elementos móviles G se calcula con la ecuación (22)

$$G = 2 \cdot G_b + \frac{G_{ro}}{S_1} \quad (22)$$

Donde

G Peso de las partes móviles

G_b Peso de la banda, 0.6 kg

G_{ro} peso de los rodillos, 0.28 kg

S_1 Longitud entre rodillos, 0.7 m

Por lo que G obtiene el valor de:

$$G = 2 \cdot 0.6 + \frac{0.28}{0.7}$$

$$G = 1.6 \frac{kg}{m}$$

Ahora se calcula el valor de la fuerza sin carga con la ecuación (20).

$$F_{b1} = 20.53 \cdot 0.020 \cdot 0.7 \cdot 1.6 \cdot 9.81$$

$$F_{b1} = 4.51N$$

- (b) **Fuerza para desplegar una carga:** Esta fuerza se calcula a partir de la ecuación (23).

$$F_{b2} = \left(\frac{C \cdot f \cdot L \cdot Q_t}{3.6 \cdot v} \right) \cdot g \quad (23)$$

Con los factores y valores ya calculados de puede calcular esta fuerza.

$$F_{b2} = \left(\frac{20.53 \cdot 0.020 \cdot 0.7 \cdot 0.054}{3.6 \cdot 0.02} \right) \cdot 9.81$$

$$F_{b2} = 2.11N$$

Una vez calculadas las fuerzas se puede calcular las la potencia de la banda con la ecuación (24).

$$P = \left(\frac{F1 + F2}{1000} \right) \cdot V + P_s \quad (24)$$

Ps se calcula a partir de la velocidad y la longitud con lo que nos queda Ps=0.0011 kW y una potencia de:

$$P = \left(\frac{4.51 + 2.11}{1000} \right) \cdot 0.02 + 0.0011$$

$$P = 0.0012kW$$

Una vez calculada la potencia se procede a calcular la potencia total que se calcula considerando la eficiencia del motor y la eficiencia mecanica que para este caso son n=0.85 y e= 0.95. Dando como resultado una potencia total de:

$$P_t = \left(\frac{P}{n \cdot e} \right)$$

$$P_t = 0.015kW$$

Con la potencia calculada el ultimo parámetro a calcular es la tensión efectiva de la banda que se calcula con la ecuación (25)

$$T_e = \left(\frac{1000 \cdot P_t}{v} \right) \quad (25)$$

$$T_e = \left(\frac{1000 \cdot 0.0015}{0.02} \right)$$

$$T_e = 75N$$

Con la tensión efectiva se puede calcular las tensiones 1 y 2 que representan las tensiones del lado fuerte y el lado flojo. La tensión del lado fuerte se

calcula con la ecuación (26).

$$T_1 = T_e \cdot m \quad (26)$$

Siendo m el coeficiente de accionamiento de la banda que en este caso es de 1.5.

$$T_1 = T_e \cdot m$$

$$T_1 = 75 \cdot 1.5$$

$$T_1 = 112.5N$$

Y la tensión del lado flojo se calcula con la diferencia de la tensión fuerte y la tensión efectiva.

$$T_2 = T_1 - T_e$$

$$T_2 = 112.5 - 75$$

$$T_2 = 37.5N$$

Selección del motor Con estos calculos se puede seleccionar el motor que va a mover la banda, considerando que el torque necesario se toma a partir de la Fuerza para desplegar una carga y la distancia entre rodillos. Aplicando la ecuación (11):

$$M = F_{b2} \cdot l$$

$$M = 2.11 \cdot 0.7$$

$$M = 1.47N \cdot m$$

Una vez conocido el Momento se procede a calcular el torque necesario con la siguiente ecuación:

Con el momento conocido y un ángulo de 90° , nos queda un torque de:

$$T = 1.47N \cdot m \cdot \text{sen}(90)$$

$$T = 1.47N \cdot m$$

Por disponibilidad de la empresa auspiciante se recurre a seleccionar el motor a partir del Anexo I. Por lo que se selecciona un motor a pasos NEMA 24, ya que con un torque nominal de $1.9 \text{ N} \cdot \text{m}$, es más que suficiente para mover la banda. A continuación, se presenta una tabla con los parámetros más importantes del motor seleccionado.

Tabla 22. Parámetros relevantes del motor a pasos NEMA 24

Parámetro	Valor
Corriente	2 A
Ángulo de paso	1.8°
Torque Nominal	$1.9 \text{ N} \cdot \text{m}$
Grado de protección	IP40

Diseño Compuerta

La compuerta se presentó como un mecanismo adicional que funciona como apoyo. Dado que la velocidad de la banda debe ser constante y el tiempo que requiere el sensor para procesar los datos y detectar un color es de aproximadamente 3 segundos como máximo.

Por lo que se requiere de un mecanismo que detenga la tapa hasta su detección y posteriormente dejarla pasar. Existen varias formas de ejecutar esta acción por lo que se redujo a dos opciones las mismas que se presentan a continuación:

- Actuador lineal: Si bien el actuador lineal puede presentarse como una gran alternativa, pero dado a su limitado control en la salida del pistón, además se requieren fines de carrera para determinar la posición del pistón.
- Piñon - Cremallera: Un mecanismo piñon cremallera convierte el movimiento circular en lineal y sus dimensiones y alcance pueden ser diseñados a medida, si bien el uso de un mecanismo representa un mantenimiento o el cambio de una pieza. Pero representa un mejor control y una sencilla implementación.

Diseño de un mecanismo piñon - cremallera: El mecanismo cuenta de dos partes importantes el piñon y la cremallera. Por lo que se diseñara Para el diseño

del mecanismo se consideran los siguientes parámetros iniciales:

- Longitud de cremallera: 90 mm
- Cantidad de dientes en la cremallera por cm: 6
- Velocidad: 0.83 rpm
- Módulo: 1.11 mm
- Diámetro primitivo: 17.5 mm

Con estos parámetros iniciales se procede a realizar los cálculos necesarios para validar el diseño:

Número de dientes: Para el cálculo del número de dientes del piñón se utiliza la ecuación (27)

$$D_P = Z \cdot m \quad (27)$$

Conocidos el diámetro conocido y el módulo se procede a despejar el número de dientes.

$$\begin{aligned} Z &= \frac{D_P}{M} \\ Z &= \frac{17.5mm}{1.11mm} \\ Z &= 15.9mm \end{aligned}$$

El número de dientes obtenido se lo redondea a su inmediato superior, es decir, que el número de dientes del piñón a utilizar en el diseño es de 16. Con el número de dientes definido se procede a recalcular el diámetro primitivo.

$$D_P = Z \cdot m$$

$$D_P = 16 \cdot 1.11$$

$$D_P = 17.8mm$$

Paso Circular: El paso circular se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_C = \pi \cdot m \quad (28)$$

Reemplazando valores nos queda un paso circular de:

$$P_C = \pi \cdot 1.11$$

$$P_C = 3.48mm$$

Cabeza del diente: La cabeza del diente de un engrane recto se puede definir con la siguiente expresión:

$$A = m$$

$$A = 1.11mm$$

Espesor del diente: El espesor del diente se calcula con la ecuación (28)

$$S = P_C \cdot \left(\frac{19}{40}\right) \quad (29)$$

Reemplazando los valores nos queda un espesor de diente de:

$$S = 3.48 \cdot \left(\frac{19}{40}\right)$$

$$S = 1.65mm$$

Pie del diente: El pie de diente en un engrane recto corresponde al módulo aumentado un 25%. Su cálculo se presenta a continuación:

$$P_D = 1.25 \cdot m$$

$$P_D = 1.4mm$$

Radio de entalle: El radio de entalle se calcula con la ecuación (30)

$$R = \frac{P_C}{12} \quad (30)$$

Reemplazando los valores nos queda un radio de entalle de:

$$R = \frac{3.48}{12}$$

$$R = 0.29mm$$

Ángulo del espesor: El ángulo de espesor se calcula con la ecuación (31)

$$AS = \frac{360 \cdot S}{2\pi \cdot \left(\frac{D_P}{2}\right)} \quad (31)$$

Reemplazando valores nos queda un ángulo de espesor de:

$$AS = \frac{360 \cdot 1.65}{2\pi \cdot \left(\frac{17.8}{2}\right)}$$

$$AS = 10.62$$

Desplazamiento: El desplazamiento se calcula con la siguiente relación:

$$d = \frac{Z}{n}$$

Con esta relación se conoce cuál es el desplazamiento de la cremallera por cada vuelta completa del piñón. Reemplazando valores nos queda un desplazamiento de:

$$d = \frac{16}{6}$$

$$d = 2.66cm$$

Velocidad de desplazamiento: La velocidad de desplazamiento se calcula con ecuación (32)

$$V = N \cdot d \quad (32)$$

Reemplazando valores nos queda una velocidad de:

$$V = 0.83 \cdot 2.66$$

$$V = 2.21cmportminuto$$

Con estos valores se procede a dibujar el piñón y la cremallera en un software CAD.

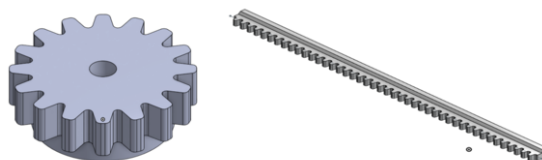


Figura 40. Modelo 3D: Piñon - cremallera

Selección del elemento motriz: Para la selección del elemento motriz de la compuerta se requiere de un análisis de fuerzas en el piñón y el cálculo del

torque necesario para moverlo. Por lo que se realizó el diagrama de cuerpo libre presente en la Figura 41

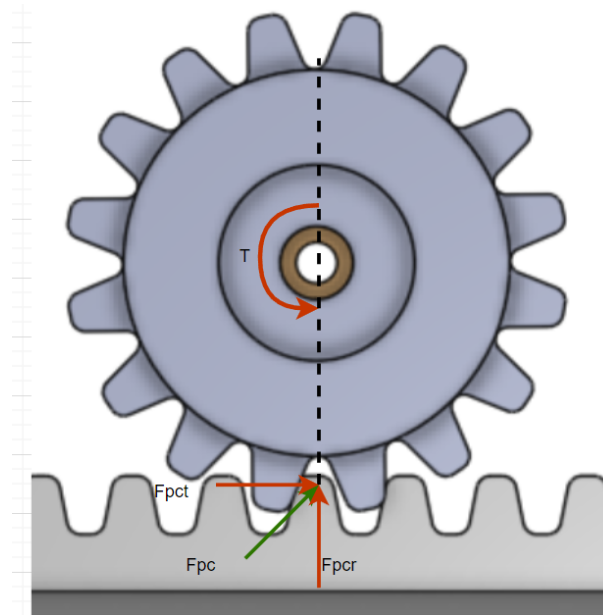


Figura 41. Modelado 3D superficie Banda Tolva

Con las fuerzas determinadas se procede calcular la fuerza tangencial aplicada con la ecuación (33)

$$W_t = \frac{60000 \cdot H}{\pi \cdot d \cdot n} \quad (33)$$

Donde

W_t Carga transmitida en, kN

H Potencia en, kW

d Diámetro en, mm

n Velocidad en, rpm

Con esta ecuación general y el diagrama de cuerpo libre se puede decir que:

$$W_t = F_{pct}$$

Con este cambio de nomenclatura podemos proseguir con el cálculo de la fuerza tangencial con los siguientes datos:

- Velocidad: 0.83 rpm
- Dado que la fuerza se ejerce sobre la cremallera y una cremallera solo es un

engrane abierto. el diámetro a utilizar se calcula con la siguiente expresión $d=L/\pi$, lo que nos da un diámetro de 28.65 mm

- Se estima que la potencia del mecanismo debe ser de 2.5 W

Reemplazando los valores en la ecuación (33), nos queda una fuerza tangencial de:

$$F_{pct} = \frac{60000 \cdot 2.5 \times 10^{-3} \text{ kW}}{\pi \cdot 28.65 \text{ mm} \cdot 0.83 \text{ rom}}$$

$$F_{pct} = 2 \text{ kN}$$

Una vez calculada la carga transmitida se procede a calcular el torque con la ecuación (34)

$$T = \frac{d_p}{2} \cdot F_{pct} \quad (34)$$

Donde:

T Torque en, N·mm

d_p Diámetro del piñón en, mm

F_{pct} Carga transmitida en, N

Reemplazando los valores se obtiene un torque de:

$$T = \frac{17.8 \text{ mm}}{2} \cdot 2$$

$$T = 17.1 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Con el torque se procede a seleccionar el elemento motriz dado su tamaño y disponibilidad se selecciona el microservo sg90 cuyas especificaciones se pueden observar tanto en el Anexo C y la Tabla 19.

Modelo 3D de la compuerta El diseño completo de la compuerta se puede observar en la Figura 42.

Diseño Plancha soporte

Se denomina plancha soporte a la superficie donde van a estar ubicados tanto la tolva con mecanismo como la banda transportadora. Para la justificación de esta superficie se realiza un análisis en el software CAD.

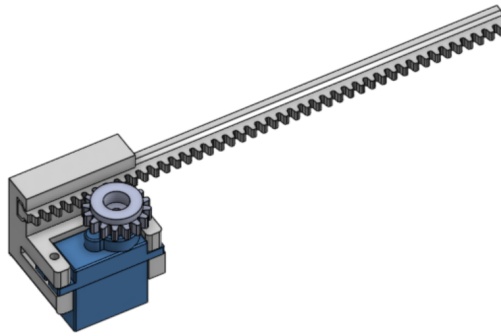


Figura 42. Modelo 3D compuerta

La simulación se realiza considerando una fuerza máxima de 148 N que es el resultado de sacar el peso de todos los elementos que iran sobre esta superficie. Los resultados se presentan en las Figuras 43, 44, 45.

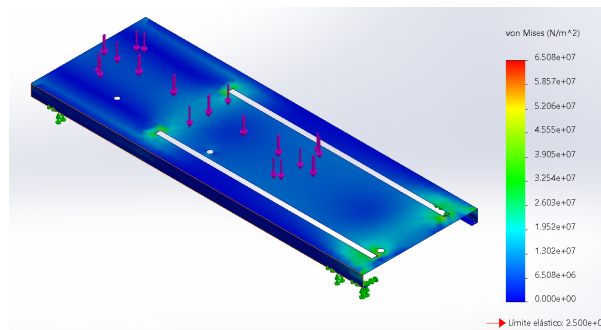


Figura 43. Resultados de la simulación esfuerzo de Von Misses

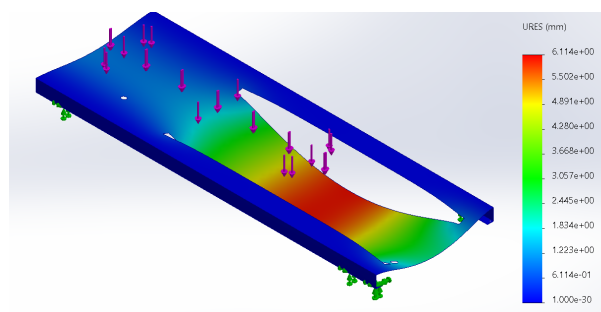


Figura 44. Resultados de la simulación Desplazamientos

Con los resultados obtenidos en las simulaciones, se considera que el desplazamiento obtenido de 6.114 mm, y la deformación obtenida de 2.33 son valores relevantes que, en caso de implementarse presentarían problemas con el tiempo y no sería una base estable. Por lo que se procedió a realizar ciertos cambios al diseño inicial, en primera instancia se dividió en dos la plancha base, también se diseñaron soportes en los extremos de la plancha para evitar pandeos y rep-

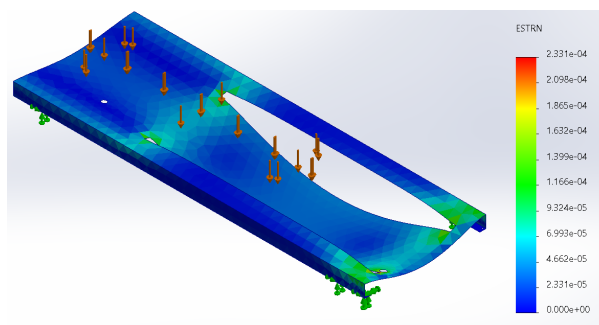


Figura 45. Resultados de la simulación Deformaciones

resente un problema para el funcionamiento del prototipo. Por lo que el diseño final de la superficie se muestra en la Figura 46.

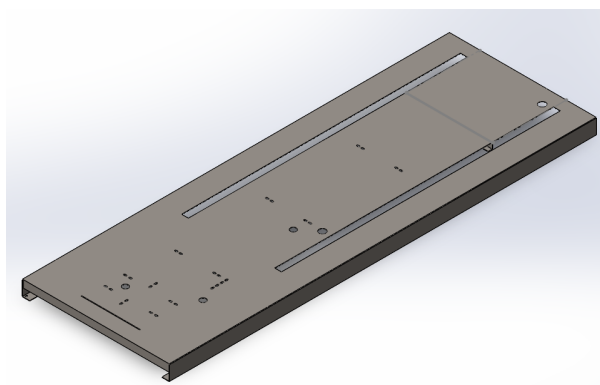


Figura 46. Modelado 3D superficie Banda Tolva

7.2. Dimensionamiento Electrónico y de control

Para el dimensionamiento electrónico y de control, se realiza la selección de componentes que ayudarán al prototipo a cumplir con las diferentes funciones que lo integran, tales como sensores, actuadores y dispositivos de comunicación, dispositivos de visualización. Además, estos componentes requieren de un controlador, el cual se encargará de ejecutar las rutinas programadas para que el prototipo funcione en correctas condiciones. Adicionalmente, se dimensiona las fuentes que alimentarán a todos los componentes.

Selección de sensores y actuadores

Para la correcta selección se debe tener una noción básica de los componentes que se van a necesitar por lo que en la Tabla 23 se detalla un listado de los

componentes que se intervienen en el buen funcionamiento del prototipo.


Tabla 23. Sensores y Actuadores del prototipo

Disposición	Elemento	Cant.
Sensores	Sensor capacitivo	2
	Sensor de color	1
Actuadores	Motor a pasos NEMA 17	1
	Motor a pasos NEMA 24	1
	ServoMotor ISV57T	1
	MicroServo SG-90	2
	Actuador Eléctrico	1

Selección de Sensores

- (a) Sensor capacitivo: El primer sensor capacitivo determinará la posición inicial del subsistema de traslación y el segundo sensor capacitivo servirá como señalizador de fin de camino, es decir, será el tope de camino para que el subsistema de traslación no se salga del camino. Anexo J. Adicionalmente se los conectará a un relé a cada uno, para que estas sean las que envíen la señal al elemento de control. En la Tabla 24 se presentan las especificaciones principales y una Figura ejemplo.

Tabla 24. Sensor Capacitivo Carlo Gavazzi

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 10-40 VDC • Corriente: 200 mA • Tiempo de respuesta: 10 ms • Carga Capacitiva: 100 nF • Grado de protección: IP69K 	

- (b) Sensor de color: El sensor de color será el que determine el color de las tapas. En este caso se utilizará el sensor TCS3200. Este sensor es un convertidor de luz a frecuencia que combina fotodiodos de silicio reconfigurables y una corriente de frecuencia en un solo circuito integrado. Su salida es una onda cuadrada con ciclo de frecuencia directamente proporcional a la intensidad de luz. Con entradas y salidas digitales permite una interfaz

directa con un microcontrolador u otro conjunto de circuitos lógicos, por lo que este sensor es ideal para líneas de producción, domótica, robótica, etc. Anexo K.

Tabla 25. Sensor de color TCS3200

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 2.7 - 5.5 VDC • Corriente: 2 mA • Rango de error típicamente de 0,2% a 50 kHz. • Frecuencia de salida Programable en color y escala completa. • Coeficiente de temperatura 200 ppm/°C. 	

Selección de actuadores Los actuadores fueron seleccionados en apartados anteriores considerando sus especificaciones y parámetros más relevantes. A continuación se realiza una breve recopilación de los datos que llevaron a su selección adicionalmente estos motores requieren de drivers para su control por lo que en este mismo apartado se realiza la selección del driver de cada motor y la forma de su control.

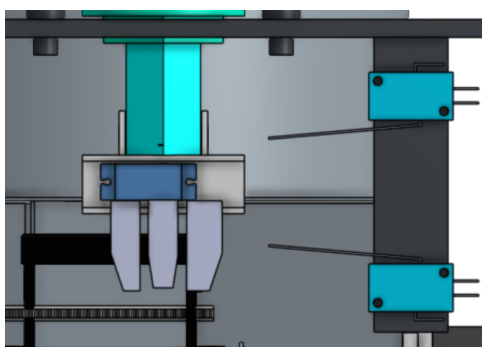
- (a) Actuator Eléctrico: El actuator eléctrico seleccionado para que sea el dispositivo que realice el movimiento en el eje y, es un actuator lineal de alta velocidad de la marca Firguelli, modelo FA-RA-22-12. Además, de su estructura hecha de aluminio, es un actuator que puede funcionar durante mucho tiempo sin requerir mantenimiento. A continuación, en la Tabla 26 se presentan sus principales características y su figura de referencia.

Tabla 26. Actuador lineal FA-RA-22-12

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 12 VDC • Corriente: 5 A • Longitud de la carrera: 10 cm • Velocidad: 4.5 in/s • Fuerza dinámica 22 lb 	

Adicionalmente, el control del actuador se lleva a cabo mediante interruptores de fin de carrera. Esto permite determinar tanto la posición inicial como la final del pistón. Además, proporciona un mayor control sobre la distancia a la que se desea que el pistón se desplace, dado que al final del pistón esta acoplado el Gripper.

Estos fines de carrera son de la misma marca y Firguelli los vende a manera de kit para su uso. El diagrama de posición de los fines de carrera es presentado en la Figura 47.

**Figura 47.** Posición fines de carrera

Por último, para que el controlador defina las posiciones arriba y abajo se requiere de relés para que estos sean los que envíen la señal al controlador y de esta manera poder generar rutinas de funcionamiento.

- (b) Motor a pasos NEMA 17: Este motor es el encargado de movilizar el alimentador de tapas. Por lo que se presenta una breve revisión de los parámetros más importantes presentes en la Tabla 27.

Tabla 27. Motor a pasos Nema 17

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 24 VDC • Corriente: 2 A • Ángulo de paso: 1.8° • Torque Nominal: 0.31 N m 	


- (c) Motor a pasos NEMA 24: Este motor es el encargado de generar el movimiento de la banda transportadora por lo que sus especificaciones más relevantes se presentan en la tabla 27.

Tabla 28. Motor a pasos NEMA 24

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 24 VDC • Corriente: 1.7 A • Ángulo de paso: 1.8° • Torque Nominal: 1.9 N m 	

- (d) Driver TB6600: Como se pudo observar en los apartados b y c. Este tipo de motores requiere de un componente adicional para poder controlar tanto su velocidad, como su dirección de giro por lo que se requiere de un driver para su control, por disponibilidad en la empresa auspiciante se selecciono el driver TB6600 para el control de los motores a pasos se considera el uso de drivers que permiten un control de manera segura y sencilla. Para la selección del driver correcto se debe considerar tanto la corriente como el voltaje necesario. Entre sus características se pueden encontrar la limitación de corriente ajustable, ajuste de cantidad de pulsos para realizar una vuelta completa. Estos ajustes se los realiza con los dipswitch que se encuentran en la parte superior. Para el control de los motores se requieren

Tabla 30. Microservo SG90

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 4.8 - 5 VDC • Corriente: 550 mA • Velocidad de operación: 0.12/60 ° • Torque Nominal: 0.11 N m 	

Entradas y Salidas del Prototipo

Con los sensores, actuadores, y su respectivo control predefinido, podemos realizar la tabla de entradas y salidas del prototipo.

Tabla 31. IO del prototipo

Entradas	Salidas
Sensor Capacitivo 1 (Pos Inicial)	Pulso Servomotor
Sensor Capacitivo 2 (Pos Final/Pos Emergencia)	Dirección Servomotor
Fin de Carrera (Actuador Baja)	Pulso Motor a pasos NEMA 17
Fin de Carrera (Actuador Sube)	Dirección Motor a pasos NEMA 17
Sensor de color (OUT)	Pulso Motor a pasos NEMA 24
Reles de entrada color	Dirección Motor a pasos NEMA 24
	Actuador Eléctrico
	Sensor de Color (S0,S1,S2,S3)
	Pulsos microservo

Dado que el prototipo esta pensado a ser un prototipo que pueda implementarse en la industria el controlador principal debe ser un Controlador lógico programable (PLC), dicho esto, se se procede a seleccionar el medio de control del prototipo a partir de los siguientes parámetros:

- Cantidad de entradas y salidas del medio de control.

- Las salidas del medio de control deben ser de tipo transistor, ya que los drivers de los motores a pasos y el servomotor integrado requieren pulsos de alta frecuencias, y un bajo consumo de corriente.
- Las entradas deben ser de tipo digital.
- Disponibilidad y Costo de adquisición.

Con estos parámetros se solicitó la sugerencia de la empresa auspiciante por lo que, por disponibilidad se selecciono el PLC (Controlador Lógico Programable) de la marca Delta modelo DVP-ES2. La misma que esta sobredimensionada para el prototipo, pero se adapta perfectamente al presente prototipo. Figura ??.

Sus principales características se presentan en la Tabla 2.

Tabla 32. Microservo SG90

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación: 100 - 240 VAC, 50-60 Hz • Número de entradas: 16 • Tipo de entrada: Digital • Número de salidas: 16 • Tipo de salida: Transistor • Puertos de comunicación: 3 (1 Rs232 y 2 Rs485) 	

Adicionalmente, hay que tomar en cuenta que tanto el sensor de color como los dos microservalos tienen características que no se acoplan a un PLC se optó por un Arduino UNO, que sirva de interprete del sensor y envíe los pulsos para que se accionen los microservalos. A continuación, se presenta la tabla 33 que presenta las especificaciones más importantes y su figura de referencia.

Al considerar el uso de Arduino UNO como interprete de los datos que brinda el sensor de color y también el control de los dos microservalos se requieren componentes que permitan al PLC acceder a estos componentes que resultan fundamentales en el funcionamiento del prototipo. Por lo que se considero el uso de

los siguientes componentes:

- (a) Módulo de relés: Es un módulo que cuenta con 4 relés debidamente aislados con optocopladores y son capaces de manejar cargas de hasta 10 A y 250 V. Cada relé consume por separado 90 mA y en caso de utilizar todos los relés se tendría un consumo de 360 mA. Se optó por este módulo para que este el que envíe la señal al PLC dependiendo del color que se programe. Dado que el PLC tiene entradas digitales este módulo se presenta como la mejor opción. Además, se programara de forma que cada relé represente los colores rojo, verde, azul, y otro.
- (b) Módulo Max 485: Es un conversor de Serial TTL a RS485, esta basado en el chip Maxim MAX485 que permite realizar comunicaciones half-duplex. Considerando que RS485 es un estándar industrial de capa física que soporta la implementación de un bus de campo industrial tipo MODBUS. Es ampliamente utilizado por su robustez, fácil implementación y buenas prestaciones. Opera con un voltaje de 5VDC y una corriente de 500 μ A. Se optó por implementar un protocolo de comunicación dado que las salidas del PLC son de tipo transistor y operan con pulsos de 24V por lo que la comunicación se presenta como la mejor opción para el control de la compuerta y el Gripper.

Componentes de visualización

Los componentes de visualización tienen el objetivo de presentar estados del prototipo, el proceso que se esta raelización el estado de las variables entre otros parámetros relevantes para el prototipo. Para cumplir con una visualización clara y sencilla se seleccionaron los siguientes componentes:

- (a) Luces Indicadoras: estas luces servirán como indicadores del estado del proceso o alguna indicación del prototipo. Por disponibilidad se utiliza luces indicadoras de la marca Weg. Adicionalmente para su correcto control se

utilizaron contactos que serán los que enviarán la señal para que se enciendan.

Tabla 33. Luces indicadoras

Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación: 110 VAC • Grado de protección: IP66 • Diametro: 22 mm • Colores: Rojo, Verde, Amarillo 	

(b) Pantalla HMI: La visualización del proceso del prototipo se requiere de una pantalla HMI que sea compatible con el PLC, que por disponibilidad de la empresa se selecciona la pantalla de la marca Delta que se comunica con el PLC mediante el protocolo de comunicación RS-485. En la Tabla 34, se presenta las especificaciones más representativas.

Tabla 34. Luces indicadoras


Especificaciones principales	Figura representativa
<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación: 24 VDC • Grado de protección: IP65 • Velocidad de comunicación: 10 - 1000 Mbps • Sistema operativo: Delta Real Time OS 	

Diagrama de bloques

Con el diagrama de bloques del prototipo se puede entender mejor la lógica de funcionamiento del prototipo, así mismo la alimentación que requieren los diferentes elementos seleccionados. Figura 49.

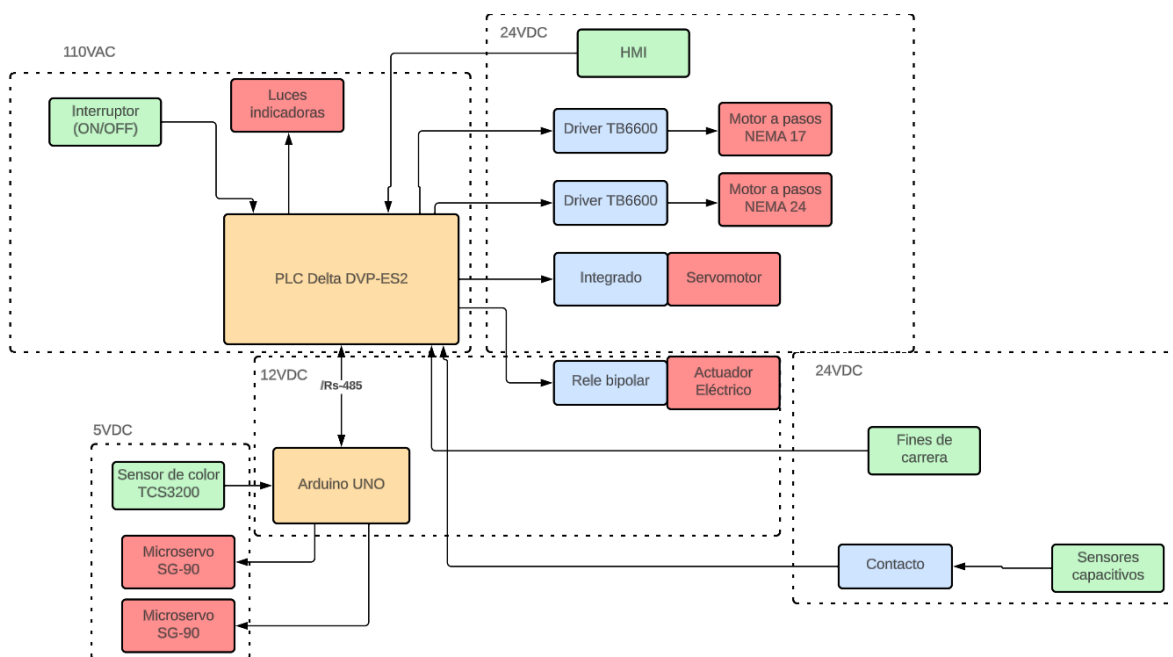


Figura 49. Diagrama de bloques del prototipo

Diagrama de Consumo

A partir del diagrama de bloques se puede definir el diagrama de consumo de los elementos principales prototipo considerando voltajes y corrientes de los mismos. Figura 50

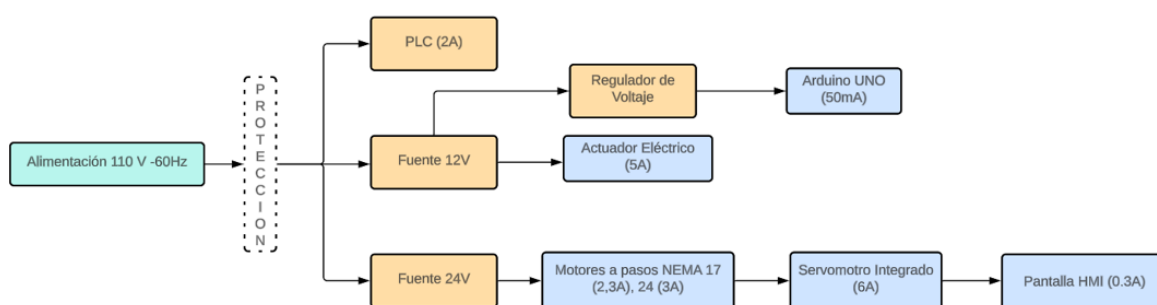


Figura 50. Diagrama de consumo del prototipo

Con los consumos definidos Se procede a seleccionar las fuentes a utilizar, así también las protecciones requeridas, con la ayuda y sugerencia de la empresa auspiciante, debido a su disponibilidad se seleccionó los siguientes elementos:

- Fuente de 12V: Para la selección de la fuente de 12 voltios, que es necesaria para la alimentación del actuador lineal y la alimentación del arduino UNO se realizó la tabla de voltajes y corrientes necesaria para la selección de la

fuente.

Tabla 35. Voltajes y corrientes Fuente de 12 V

Elemento	Voltaje [V]	Corriente [A]
Actuador Eléctrico	12 V	5 A
Arduino UNO	6-12v	285 mA - 1 A

A partir de la Tabla 25, se procede a seleccionar la fuente que se va a utilizar. Esta fuente tiene una tensión de 12V y es capaz de suministrar una corriente de 5A. Cuenta con dos puertos de conexión que nos permiten conectar de manera independiente el actuador y el Arduino UNO. Además, está equipada con protecciones en la salida de voltaje, un disipador de calor y una carcasa de acero. Figura 52.



Figura 51. Fuente de 12V - 5A

- Regulador de Voltaje StepDown Lm2596: Para la alimentación de los microservos, el sensor de color, y el módulo de relés, se requiere de un voltaje de 5V por lo que se realizó la siguiente tabla definiendo voltajes y corrientes de cada elemento.

Tabla 36. Voltajes y corrientes Regulador de Voltaje

Elemento	Voltaje [V]	Corriente [A]
Microservo SG90	3.3V - 5V	550 mA
Sensor de color TCS3200	5V	160 mA
Módulo de relés	5v	4 relés: 360 mA

Con los voltajes y corrientes presentes en la Tabla 26, es posible apreciar

que se necesita un mínimo de 1.6 A para llevar a cabo la alimentación. Por lo tanto, se optó por la selección del regulador de voltaje LM2596.

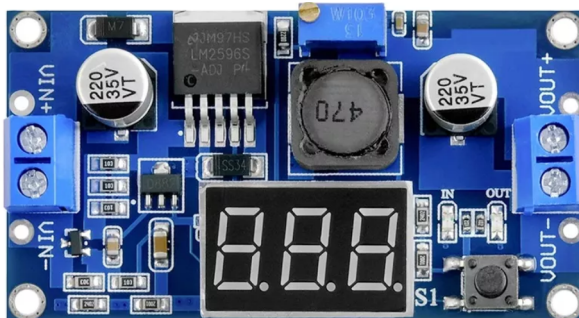


Figura 52. Regulador de Voltaje Lm2596

- Fuente de 24V: La fuente de 24 voltios es capaz de alimentar los motores, el servomotor, y la pantalla HMI. En la Tabla 37 se presentan los voltajes y corrientes necesarios.

Tabla 37. Voltajes y corrientes Fuente de 24V

Elemento	Voltaje [V]	Corriente [A]
Motor a pasos NEMA 17	24 VDC	2 A
Motor a pasos NEMA 24	24 VDC	2 A
Servomotor ISV57T	24 VDC	6A
Pantalla HMI	24 VDC	0.3 A

Adicionalmente, cuenta con ventilador integrado, salida de voltaje regulado, borneras de conexión para multiples tomas, carcasa metálica aislada. Figura 53.



Figura 53. Fuente de 24 V

- Protecciones: En cuanto a las protecciones del prototipo se van a requerir tres, una para la protección general que va a ir conectada a la línea de 110V y una protección para cada fuente de alimentación. Para esto se seleccionaron los mini interruptores termomagnéticos de la marca Weg. Este interruptor fue seleccionado debido a la disponibilidad de la empresa auspiciante. Además, los interruptores cuentan con la curva de funcionamiento B que es ideal para la protección de circuitos de circuitos con características resistivas o con grandes distancias de cables conectados. Figura 54.



Figura 54. Mini interruptor Weg

Para más información sobre las conexiones y distribución de los elementos seleccionados revisar el anexo de planos eléctricos, electrónicos.

7.3. Desarrollo de la programación

El prototipo cuenta con un PLC Delta, Arduino, y una pantalla HMI. Los mismos que deben seguir una lógica secuencial para el buen funcionamiento del prototipo.

Desarrollo programación PLC Delta

El desarrollo de la programación del PLC se realizará con ISPSOFT, que es la última herramienta de programación de los PLC Delta, que entre sus ventajas cuenta con el desarrollo de bloques de función propios, además, de tener un

entorno de desarrollo eficaz y cómodo, y es adecuado tanto para sistemas de control pequeños como complejos [25].

En el Anexo L, se presenta el diagrama de flujo que seguira el PLC.

Desarrollo de la programación Arduino UNO

Arduino IDE 2.1.0 es la versión más actualiza del software para programar Arduino. Además, de un editor más moderno y una interfaz más sensible, incluye autocompletado, navegación por el código e incluso un depurador en vivo.

En el Anexo L, se presenta el diagrama de flujo que seguira el Arduino.

Desarrollo de la programación Pantalla HMI

El software para el desarrollo de la programación de la pantalla HMI es DOPSoft que permite editar y crear imágenes, gráficos, así mismo permite establecer el protocolo de comunicación adecuado al diseño del programa.

En la Tabla 25, se presenta la configuración y disposición de la HMI.

Tabla 38. Adquisición de valores máximos y Mínimos del sensor

Pant. Principal	Pant. Proceso	Pant. Mantenimiento
		

8. Implementación del prototipo del clasificador de tapas por color

La implementación del prototipo de clasificador de tapas mediante sensores de color es un proceso de adquisición, fabricación y ensamble de los elementos diseñados y seleccionados para concluir en el ensamble de un prototipo fun-

cional. El proceso de implementación del prototipo se divide en las siguientes etapas:

(a) Implementación Mecánica: En la implementación mecánica se contemplan todo lo relacionado a la adquisición, fabricación, y ensamble de los elementos que conforman la estructura del prototipo, los mecanismos a implementar, también se consideran las modificaciones y acabado de la estructura final del prototipo. Las mismas que se dividieron en etapas de implementación las mismas que se presentan a continuación:

- Implementación de la estructura principal
- Implementación del sistema de traslación
- Implementación de Banda transportada
- Implementación de Alimentador de tapas
- Implementación de Subsistema Pick&Place
- Implementación Plancha Base

(b) Implementación Eléctrica-Electrónica: En esta etapa se considera el cableado, disposición de los elementos de control y alimentación. Dentro de la implementación electrónica se contempla a las siguientes etapas:

- Calibración Sensor de color.
- Configuración de drivers
- Configuración Comunicación PLC - Arduin UNO
- Implementación panel de control y tablero de control

(c) Implementación del Prototipo clasificador de tapas mediante sensores de color

Cada una de estas etapas es fundamental para la implementación final por lo que cada etapa será explicada detalladamente considerando, recomendaciones de la empresa auspiciante, cambios respecto a los elementos diseñados o componentes seleccionados debido a factores de adquisición, o por sencillez de implementación.

8.1. Implementación mecánica

Implementación de la estructura principal

Para la estructura principal, se optó por reutilizar la estructura de un prototipo previamente realizado en la empresa auspiciante, el cual se puede visualizar en la Figura 55. A esta estructura se le realizaron algunas modificaciones para adaptarla al nuevo diseño, además de las adecuaciones que se llevaron a cabo en el diseño inicial. A continuación, se presentan algunas consideraciones al momento de reutilizar la estructura existente y adaptarla al diseño inicial.



Figura 55. Estructura del prototipo

- Los materiales de la estructura existente son similares a los materiales pre-seleccionados en apartados anteriores, al ser implementados en la misma empresa auspiciante. Estos materiales son del catálogo de DIPAC tubo Cuadrado estructural de 40 mm.
- Un cambio importante en el diseño inicial son las ruedas que tiene la estructura existente ya que esto aumenta la altura del prototipo, aunque no representa un cambio crítico.

- El diseño inicial contaba con un panel de control estático, pero en la estructura existente cuenta con un panel giratorio. Este cambio no afecta de manera crítica por lo que se adopta este cambio.
- La estructura existente cuenta con una plancha en la que se ubicaban los elementos del otro prototipo, esta plancha no está considerada en el diseño inicial, pero se adapta correctamente para tener estabilidad y mejorar la visibilidad del prototipo.
- La estructura existente cuenta con planchas que complementan la estructura y mejoran su visibilidad. El diseño inicial contaba con planchas que cubran la estructura. Además, la estructura es pintada con pintura electrostática.
- La estructura existente tiene un tiempo de vida de aproximadamente 1 año y medio por lo que se tuvo que retocar la pintura, reajustar la chumacera que soporta el panel de control, corregir la puerta del tablero de control que presentaba un desperfecto al momento de cerrar y abrir.

Considerando que la estructura existente genera algunos cambios en el diseño inicial, es importante destacar que dichos cambios resultan ser mínimos. Por esta razón, utilizar esta estructura para la implementación del prototipo es idóneo, especialmente porque fue construida en la misma empresa auspiciante, lo que garantiza que cumple con los estándares y regulaciones establecidas por dicha empresa.

8.2. Implementación del subsistema de traslación

Para la implementación del subsistema de traslación se tomaron los elementos disponibles en la empresa auspiciante, es decir, como en la estructura se reutilizó los componentes que se habían utilizado en otro prototipo, por lo que se debió hacer mantenimiento a ciertos elementos como lubricación del tornillo sin fin con grasa de litio de la marca ABRO, se realizó el cambio de rodamientos de una de las guías lineales por el desgaste que tuvo en su uso anterior, así como

su respectiva lubricación con aceite, se ajusto los acoples del servomotor y el tornillo. Figura 56.



Figura 56. Lubricación elementos subsistema de traslación

Implementación Banda transportadora

Para la implementación de la banda transportadora se tomo las piezas diseñadas y se saco su plano superior para realizar el corte de chapa de acero negro de 1.1 mm de espesor. Figura 57 Este archivo fue realizdo con AutoCad con licencia

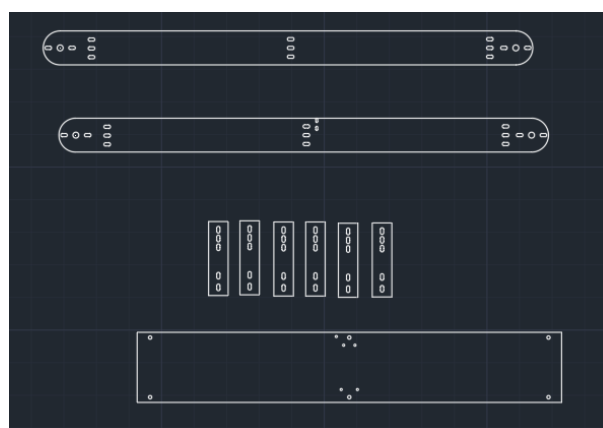


Figura 57. Archivo para realizar el corte de la plancha (Banda)

de estudiante.

Una vez adquirida la banda y los demás elementos se monto la banda transportadora. Como se presenta en las Figuras 58 y 59.

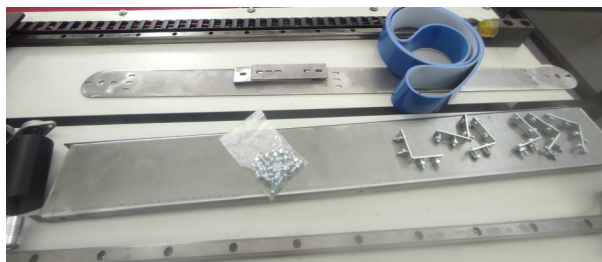


Figura 58. Elementos que conforman la banda transportadora

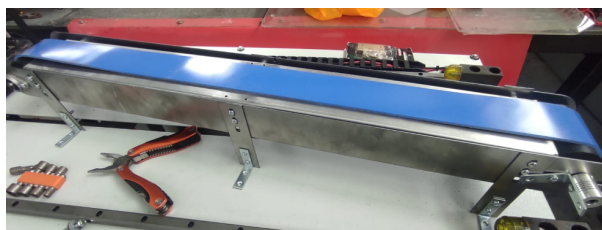


Figura 59. Banda transportadora implementada

Implementación Alimentador de Tapas

Como se mencionó en apartados anteriores primero se envió a cortar las piezas necesarias en chapa de acero negro de 1.1 mm de espesor. Figura 60.

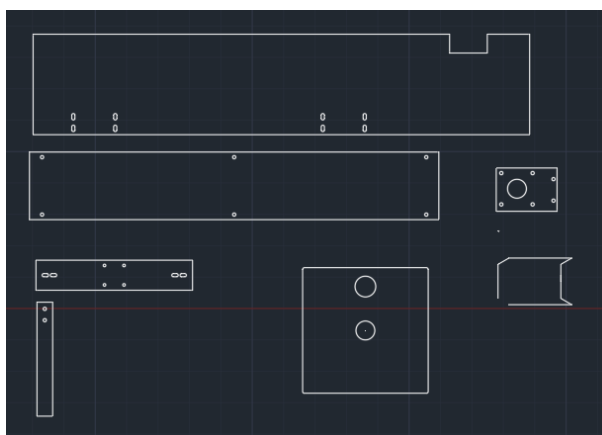


Figura 60. Archivo para realizar el corte de la plancha (Alimentador)

A continuación, se monto el motor y la pieza Alimentadora impresa en 3D, por último se colocó la estructura que cubre al motor y donde va la pieza que deja caer las tapas. Figura 61 y Figura 62.

Implementación Subsistema pick&Place

Para el subsistema pick&place se reutilizo la estructura mencionada en el apartado de estructura, a pesar de ser más pesado que el diseño inicial se adapta al



Figura 61. Implementación Pieza Alimentador-Motor

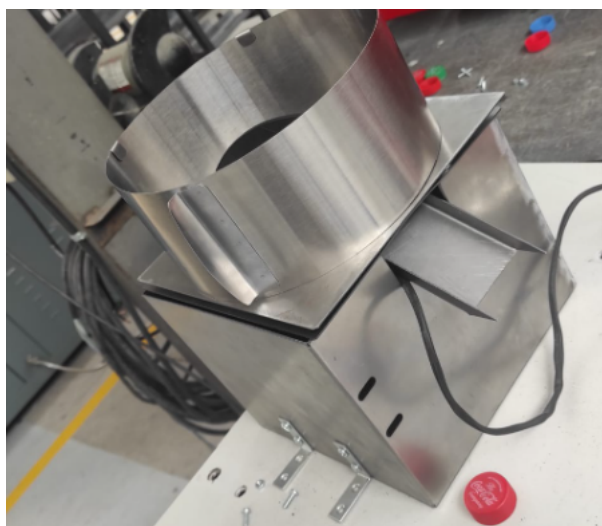


Figura 62. Alimentador implementado

movimiento que va a recrear este subsistema.

Adicionalmente se modificó la parte final del actuador para colocar el gripper que será el que tome las tapas y las clasifique, además se adaptó piezas para que sean las que entren en contacto con los sensores posicionados en el inicio y al final como limitantes de movimiento. Figura 63.

Implementación Plancha Base

Para la implementación de la plancha base se consideró el uso de una plancha de acero negro de 1.4mm de espesor y su acabado será el pintado de estas piezas en color Blanco, Pintura RAL-7035. Esta plancha igual se consideró el archivo

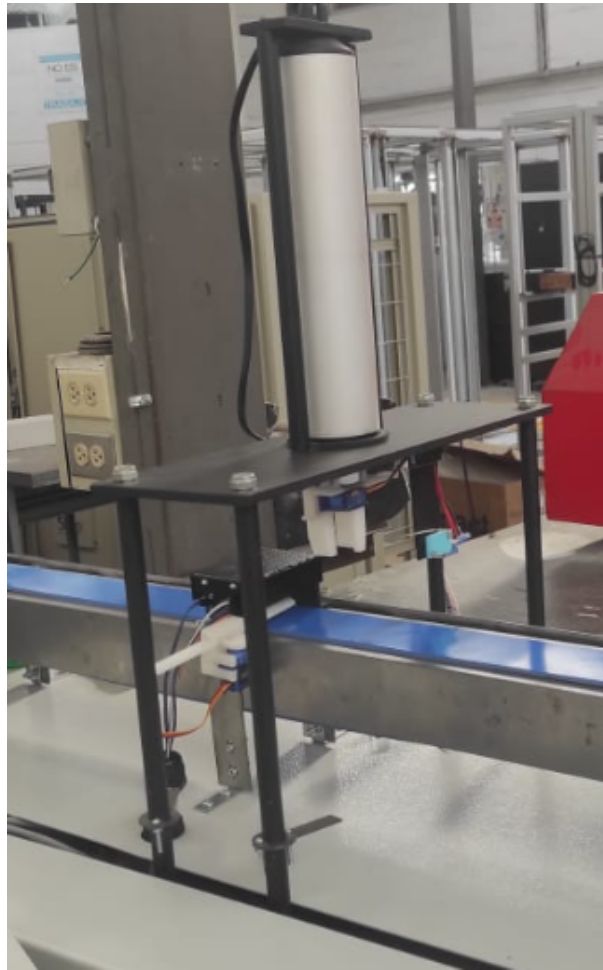


Figura 63. Subsistema Pick&Place

para realizar el corte. Figura 64.



Figura 64. Plancha Base Montada

8.3. Implementación Eléctrica-Electrónica

Calibración Sensor de Color

El sensor de color es uno de los elementos más críticos del prototipo por lo que su calibración es muy importante para el correcto funcionamiento del prototipo.

La calibración dependerá de ciertos parámetros:

- **Módulo sensor:** En el centro del módulo se encuentra el chip sensor RGB (Red-Green-Blue), es decir este sensor trabaja con la paleta de colores RGB para determinar los diferentes colores. Los Colores son solo combinaciones de estos tres colores principales.
- **Ambiente:** El ambiente donde estará colocado el sensor es el parámetro más relevante por que de esto dependerá que el sensor detecte el color indicado.
- **Fondo:** El fondo que va a contrastar la frecuencia a la que envía el sensor constantemente debe ser de un color adecuado.

Con estos parámetros conceptualizados se debe considerar que la calibración del sensor se debe realizar una vez colocado el sensor en el prototipo, esto para obtener mejores resultados al calibrarlo. Figura 65.

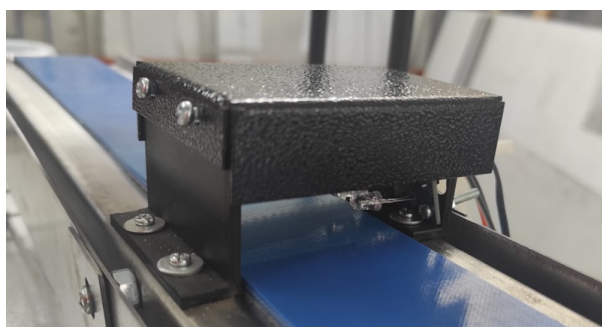


Figura 65. Sensor de color montado

Para calibrarlo se utilizó un Arduino UNO y un programa que está formado para realizar la calibración. Como se puede observar en la Figura 68, la luz de ambiente fue limitada por una pieza de acero negro, pintada con pintura negra, además considerando los cambios que se obtuvo en el proceso de selección de color de banda, se debe considerar al momento de calibrar que el fondo no sea negro del todo sino que será afectado por la banda de color azul.

La calibración del sensor cuenta con ciertas etapas importantes las mismas que nos ayudarán a determinar los colores que va a detectar el sensor, estas etapas se detallan, a continuación:

- Estructura del Sensor: El sensor de color cuenta con cuatro pines de control 2 controlan los fotodiodos (S2, S3) y la disposición de los mismos se puede configurar a partir de la siguiente Tabla 26.

Tabla 39. Disposición pines de control fotodiodos

S2	S3	Tipo de fotodiodo
BAJO	BAJO	Rojo
BAJO	ALTO	Azul
ALTO	BAJO	Sin filtro
ALTO	ALTO	Verde

Esta tabla nos indica la forma en como debemos activar los fotodiodos de manera de detectar los rojos, verdes, azules del ambiente o el objeto que este en frente.

Cabe mencionar que el sensor cuenta con un convertidor interno de corriente a frecuencia, el mismo que convierte las lecturas de los fotodiodos en una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional a la intensidad del color especificado.

Adicionalmente, los otros dos pines de control (S0, S1), sirven para escalar la frecuencia de salida. Según, la disposición de estos pines se puede acceder a una escala diferente como se puede observar en la Tabla 27.

Tabla 40. Disposición pines de control fotodiodos

S0	S1	Tipo de fotodiodo
BAJO	BAJO	Apagado
BAJO	ALTO	2 Por ciento
ALTO	BAJO	20 Por ciento
ALTO	ALTO	100 Por ciento

La configuración que se seguirá es la del 20 %, ya que es la más utilizada en una aplicación como la del prototipo. Y la configuración de los fotodiodos ira cambiando según el filtro que se quiera visualizar, esto se realizará mediante código.

- Adquisición de valores máximos y minimos: Se empieza a visualizar los datos que entrega el sensor en primera instancia, se coloca un objeto blanco

y uno negro para obtener los datos máximos y mínimos que entrega el sensor. Esto para poder realizar una equivalencia entre los datos recibidos del sensor y los valores máximos y mínimos que pueden definir a un color, es decir, el color blanco en la paleta de colores RGB se define como: "Rojo=255, Verde=255, Azul=255", y el negro se define como: "Rojo=0, Verde=0, Azul=0", entonces lo que se realiza en el programa de Arduino es utilizar la función `map`, que nos ayuda a realizar estas equivalencias y así obtener los valores que definirán a los colores que se coloquen delante el sensor. A continuación, se presenta la Tabla 28, donde se pueden observar los datos máximos y mínimos que se obtuvieron durante las pruebas.

Tabla 41. Adquisición de valores máximos y Mínimos del sensor



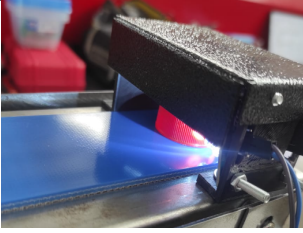

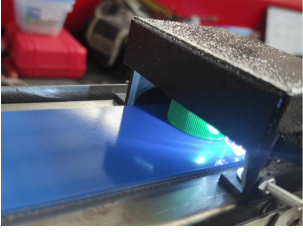

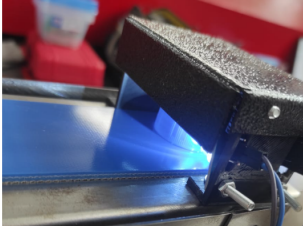

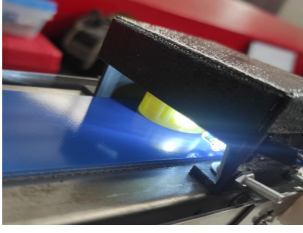

Prueba	Rojo	Verde	Azul
BLANCO	Rojo mín=57	Verde mín=63	Azul mín=49
Negro	Rojo máx=325	Verde máx=266	Azul máx=226

Una vez obtenidos los valores se procede a escalar el código que nos brindará el valor recibido del sensor en un rango de 0 a 255.

`map(var,Rmín,Rmáx,255,0)`.

- **Determinación de colores:** se determina con pruebas colocando el objeto a observar delante del sensor, en este caso el objeto es una tapa plástica, por lo que se tiene tapas de diferentes colores (rojas, azules, verdes, blanca, dorada), configurando en código las condiciones que determinan su color delante del sensor. Por lo que en la Tabla 29, se presentan las condiciones y el color que observa el sensor.

Tabla 42. Adquisición de valores máximos y Mínimos del sensor

Prueba	Condición	Color determinado
	La condición que determina al fondo en el que esta el sensor es: Si el valor rojo es menor a 170 y el valor verde es menor a 150 y el valor azul es menor a 170 el sensor esta observando el FONDO	
	La condición que determina a las tapas rojas es: Si el valor Rojo es mayor al Valor azul y verde y el valor azul es mayor a verde la tapa es ROJA	
	La condición que determina a las tapas verdes es: Si el valor verde es mayor al Valor azul y rojo y el valor rojo es mayor al azul la tapa es VERDE	
	La condición que determina a las tapas azules es: Si el valor aZUL es mayor al Valor rojo y verde y el valor verde es mayor a rojo la tapa es Azul	
	La condición que determina a las tapas de otro color es: Si no cumple con ninguna de las condiciones establecidas el color es otro.	

Con el sensor calibrado y las condiciones establecidas se procede a estructurar el código final que se presenta en el entregable Código Fuente.

Configuración Drivers

La configuración de los drivers tb6600 dependen de las necesidades de la aplicación, en este caso se tiene dos motores a pasos para diferentes casos, uno para la alimentación de tapas, y otro para mover la banda transportadora. Para

su correcta configuración se utilizan los dip switch que el driver contiene en la parte superior, estos dip switch configuran la cantidad de pasos que debe dar el motor para completar una revolución, y la corriente que brinda al motor. Las diferentes configuraciones se presentan en las Figuras 66 y 67.

Micro Step	Pulse/Rev	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	ON	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

Figura 66. Ajuste DipSwitch Micro Step

Current (A)	S4	S5	S6
0.5	ON	ON	ON
1.0	ON	OFF	ON
1.5	ON	ON	OFF
2.0	ON	OFF	OFF
2.5	OFF	ON	ON
2.8	OFF	OFF	ON
3.0	OFF	ON	OFF
3.5	OFF	OFF	OFF

Figura 67. Ajuste DipSwitch Corriente

- Configuración Driver Motor a pasos NEMA 17: Este motor va a movilizar lo que es el mecanismo de alimentación de tapas, el mismo motor trabaja a una corriente de 2A, y tiene un paso de 1,8 grados. La configuración de los dipswitch de este driver se pueden apreciar en las Tablas 30 y 31.

Tabla 43. Confiuración Driver Motor Alimentador (MicroStep)

Micro Step	Pulso/Rev	S1	S2	S3
32	6400	OFF	OFF	OFF

Tabla 44. Confiuración Driver Motor Alimentador (Corriente)

Corriente (A)	S4	S5	S6
2.0	ON	OFF	OFF

Con esta configuración no enviamos más corriente de la que necesita el motor por lo que su calentamiento estará dentro de lo normal, por otro lado la configuración del microstep nos brinda una mejor precisión.

- Configuración Driver Motor a pasos NEMA 24: Este motor va a movilizar la banda transportadora, el mismo motor trabaja a una corriente de 3A , y tiene un paso de 1,8 grados. La configuración de los DipSwitch de este driver se puede apreciar en las Tablas 32 y 33.

Tabla 45. Confiuración Driver Motor Banda (MicroStep)

Micro Step	Pulso/Rev	S1	S2	S3
32	6400	OFF	OFF	OFF

Tabla 46. Confiuración Driver Motor Banda (Corriente)

Corriente (A)	S4	S5	S6
3.0	OFF	ON	OFF

Con esta configuración no enviamos más corriente de la que necesita el motor por lo que su calentamiento estará dentro de lo normal, por otro lado la configuración del microstep nos brinda una mejor precisión.

Implementación Panel de control y Tablero de control

- **Tablero de control:** El tablero de control se va a reutilizar de las misma estructura mencionada en la implementación estructural del prototipo. En este caso la empresa un estandar al momento de realizar el cableado y disposición de elementos, es decir, que el tablero de control se rige a la norma NEMA 250-2020 Y NEMA PB1.1-2011. Adicionalmente, se realizo los cambios pertinentes como la reconexión de algunas cosas y la remoción de otras. Así también, se añadió una caja de control donde se encontrará el Arduino y el cableado respectivo. En la Figura 68 se puede observar el tablero de control.
- Panel de control: De la misma manera se reutilizó el panel de control ya que de igual manera esta constituido por los estandares de la empresa auspi-

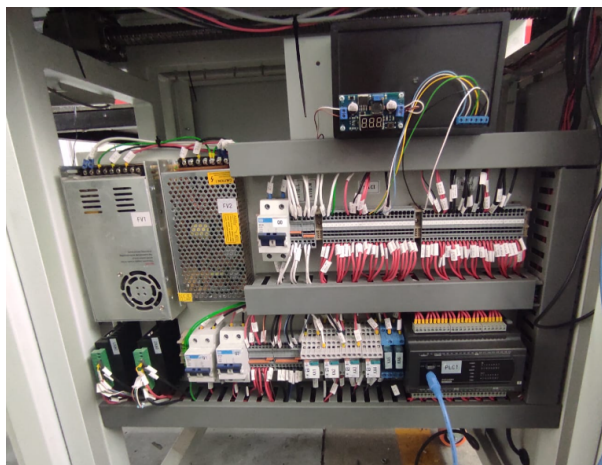


Figura 68. Tablero de control

ciente, en este caso se realizó un retoque en la pintura. Otro cambio importante es la chumacera de piso que contiene para su movilidad, aunque este es uno de los cambios más considerables se tuvo que realizar un mantenimiento a esta parte ya que al estar en bodega sufrió un desajuste en los pernos que sujetaban al panel de control a la estructura principal. Figura 69.



Figura 69. Panel de control

8.4. Configuración Comunicación PLC - Arduino UNO

El protocolo de comunicación establecido para que el PLC y el Arduino se comuniquen es el protocolo RS-485. El PLC seleccionado cuenta con dos puertos

de comunicación RS-485, pero el Arduino no cuenta puertos compatibles con este protocolo por lo que se requiere de un componente externo como lo es el módulo max485, que es un convertidor de Serial TTL a RS-485. Este módulo es funcional y trabaja con el modo de operación half-duplex, es decir, solo puede emitir o recibir datos. En este caso se requiere que el Arduino reciba los datos que activen los servomotores y a su vez el mecanismo acoplado a ellos.

La configuración de la comunicación consta de dos etapas primordiales que son:

- Conexión y cableado
- Programación de parámetros

Conexión y Cableado: La conexión de los tres componentes que intervienen en la comunicación es primordial, ya que de estar mal conectado la comunicación no se ejecutaría. Para esto se debe seguir el siguiente esquema de conexión. Figura 70.

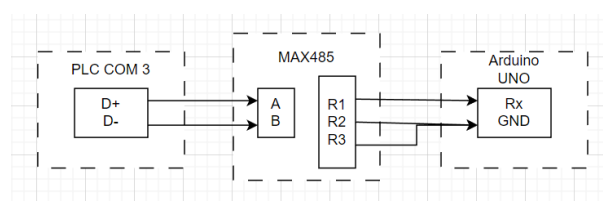


Figura 70. Esquema de conexión Protocolo RS-485

Programación de parámetros: La programación de los parámetros es muy importante ya que si los dos componentes no tienen los mismos parámetros programados la comunicación fallará. Para esto se definieron los siguientes parámetros:

- Unidades de Señal por segundo: 9600 bps
- Longitud de datos: 7 bits
- Paridad: Ninguna
- Bit de parada: 1 bit de parada
- Formato: RTU
- Dirección de estación: 1

Por último, hay que considerar que la conexión y la debida programación de los parámetros son fundamentales para el funcionamiento del Gripper y de la compuerta.

8.5. Implementación del Prototipo clasificador de tapas mediante sensores de color

Una vez Seguido el proceso de construcción e implementación se logra la adquisición de el prototipo clasificador de tapas mediante sensores de color. Figura 71.



Figura 71. Prototipo clasificador de tapas por color

9. Pruebas y Resultados

En esta sección se presentan las pruebas de los mecanismos involucrados en el funcionamiento del prototipo, así también las pruebas de funcionamiento del prototipo.

9.1. Alimentación

La siguiente prueba tiene como objetivo evaluar al subsistema de alimentación del prototipo probando la eficiencia del alimentador bajo diferentes cargas de tra-

bajo. Estas cargas de trabajo fueron tomadas en cuenta con las cargas minimas y maximas según criterios de diseño. La carga minima de trabajo del alimentador es de 3 para obtener resultados coherentes, ya que la pieza movil del alimentador esta diseñada para mover dos tapas por un ciclo, por lo tanto para no obtener resultados esperados se considero tres tapas como carga minima. Para la carga máxima se considero los parámetros de diseño y la capacidad maxima de la tolva es de 25 tapas. Para la prueba de alimentación se tomo en cuenta un paso de motor de 60 pul/rev, cantidad de tapas, tiempo de alimentación. A continuación, en la Figura 72 y la Tabla 34 se puede observar los resultados de la prueba.

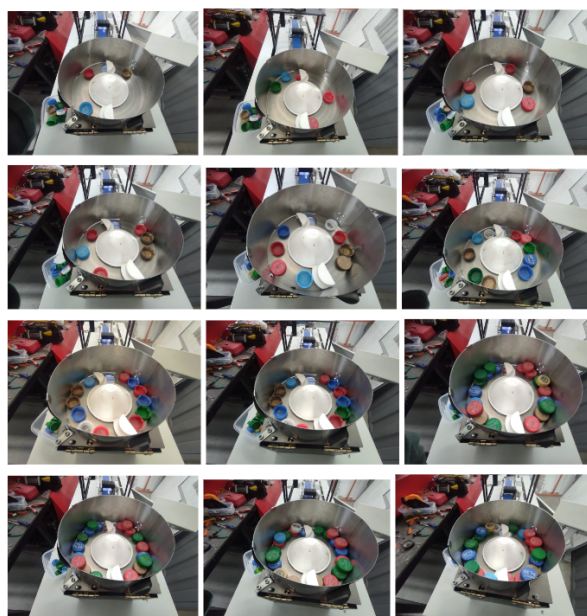


Figura 72. Prueba de alimentación

Tabla 47. Resultados Prueba alimentación

N Tapas	Tiempo de alimentación [s]	Tiempo promedio alimentación [s]
3	27.77	9.26
4	28.13	7.0325
5	33.52	6.704
6	47.17	7.86
8	60.6	7.575
10	63.6	6.36
12	73.2	6.1
15	94.98	6.33
18	127.2	7.06
20	130.8	6.54
22	131.4	5.97
25	133.8	5.35

Como se puede observar en la Tabla 34, el tiempo promedio de alimentación por tapa es 9.25 segundos, es decir, que con tres tapas se alimenta una tapa cada 9 segundos, pero según va aumentando la cantidad de tapas el tiempo va reduciéndose hasta llegar a un tiempo de alimentación de 5.35 segundos, esto debido a que al estar las tapas más cercanas no se tarda en encontrar otra tapa para arrastrarla, lo que si pasa cuando hay menos tapas.

9.2. Prueba de Transporte de tapas

Esta prueba tiene como objetivo evaluar el subsistema de transporte por medio de banda donde se midió el tiempo que tarda una tapa en recorrer toda la longitud de la banda. Esto para determinar el tiempo de espera idoneo para que en caso de una que una tapa de un color no establecido pueda llegar a su deposito designado. Para la prueba de banda se tomo un paso de motor de 700 pul/rev y el tiempo que tarda una tapa en recorrer la banda completa. A continuación, la tabla de resultados de la misma. Tabla 35.

Tabla 48. Resultados Prueba Movimiento Banda

Prueba	Tiempo recorrido [s]
1	5.81
2	5.73
3	5.79
4	5.84
5	5.8
6	6.08
7	5.95
8	5.95
9	6.17
10	6.3

Con esta prueba se puede apreciar que el tiempo promedio que tarda una tapa en llegar al final de la banda es de 6s con un movimiento continuo y sin fallas.

9.3. Prueba proceso de detección de color

Esta prueba tiene como objetivo evaluar el funcionamiento del proceso de detección en el cual se ven involucrados los siguientes elementos: La compuerta que da paso a las tapas detectadas y el estado del sensor. Para que la prueba tenga resultados reales se realizó las pruebas con la banda en funcionamiento, es decir, en movimiento. Los parámetros para considerar que el sensor detectó de manera correcta y dejen pasar una tapa son: el contador interno de cada tipo de color que se tiene programado en el PLC y se puede visualizar en la HMI, y la apertura de la compuerta que también puede visualizarse en la HMI. Con estos parámetros se comenzó a realizar las pruebas correspondientes. A continuación, se presenta la Tabla 36, con los resultados obtenidos en la prueba.

Una vez definidos los parámetros de validez se procede a realizar las pruebas variando la cantidad de tapas esto para verificar la capacidad del sensor y de la compuerta para procesar diversas cantidades de tapas. En el proceso se tuvo que recalibrar el sensor de color dado que no detectaba el color de manera correcta y presentaba un error considerable.

Para la recalibración se debe seguir los mismos pasos presentados en el apartado de Calibración sensor de color, con el fin de reajustar las condiciones y obtener

mejores resultados. Una vez realizada la recalibración se procede a realizar la prueba obteniendo los siguientes resultados. Tabla 49.

Tabla 49. Resultados Prueba proceso de detección (Recalibración).

N Tapas	Detección Cor- recta	Detección In- correcta	% Detección	Compuerta
3	3	0	100	Correcto
4	4	0	100	Correcto
5	5	0	100	Correcto
6	6	0	100	Correcto
8	8	0	100	Correcto
10	10	0	100	Correcto
12	12	0	100	Correcto
15	15	0	100	Correcto
18	18	0	100	Correcto
20	20	0	100	Correcto
22	21	1	95.5	Correcto
25	24	1	96	Correcto

Tabla 50. Resultados Prueba proceso de detección (Errores recalibración).

Resultados	Valor
Error absoluto	2
Error relativo	0.00167
Error porcentual	0.167%

Como se puede observar en la Tabla 49, se obtuvo resultados adversos con las cantidades de 22 y 25 tapas por lo que se procedió a ver las causas de este error. Por lo que se realizó una vez más la prueba con estas cantidades, y las mismas tapas. Por lo que a continuación, se presenta los resultados de la prueba con estas cantidades en específico.

(a) Prueba 22 tapas: Para la prueba con 22 tapas se consideraron las siguientes cantidades de los siguientes colores:

- Rojo: 6
- Verde: 6
- Azul: 6
- Otro: 4

Los resultados obtenidos se pueden reflejar en la siguiente Figura 73

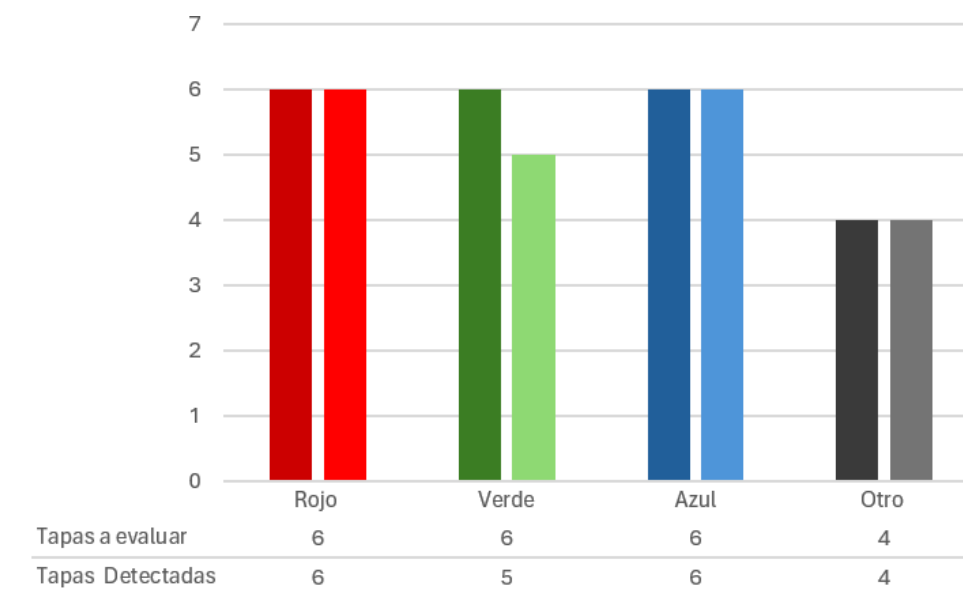


Figura 73. Resultados Prueba 22 Tapas

(b) Prueba 25 tapas: Para la prueba con 25 tapas se consideraron las siguientes cantidades de los siguientes colores:

- Rojo: 7
- Verde: 7
- Azul: 7
- Otro: 4

Los resultados obtenidos se pueden reflejar en la siguiente Figura 74

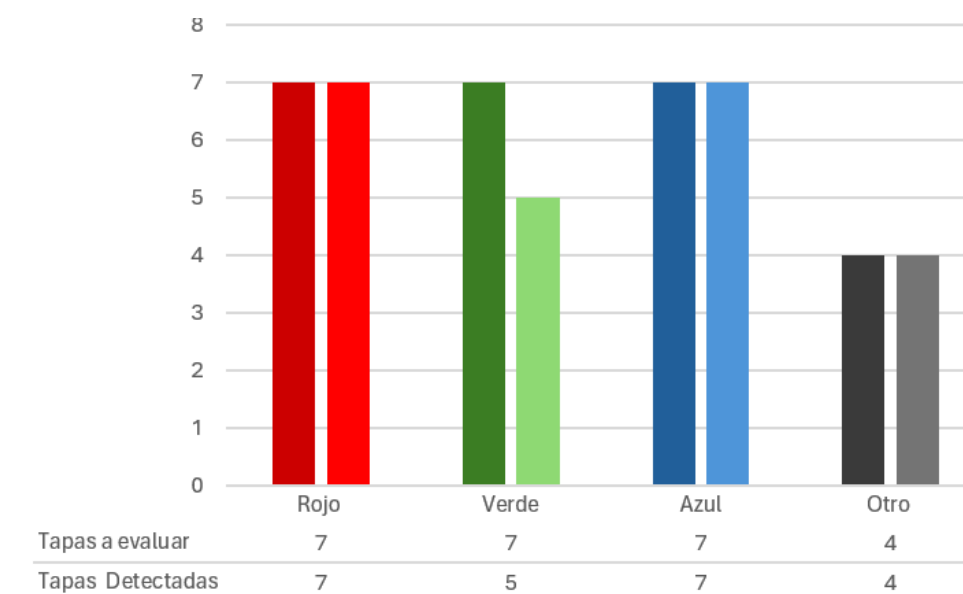


Figura 74. Resultados Prueba 25 Tapas

Con los resultados obtenidos se puede observar que el sensor presenta problemas con la detección del color verde pero esto se pudo evidenciar que por un leve cambio entre una tapa de color verde respecto a las otras, lo que evidencia las limitaciones del sensor de color utilizado.

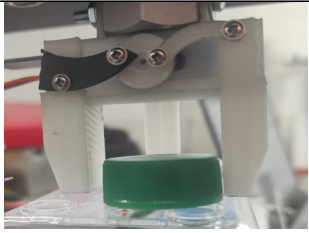
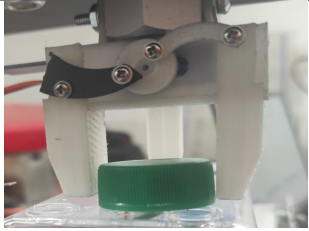
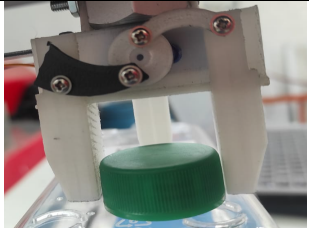
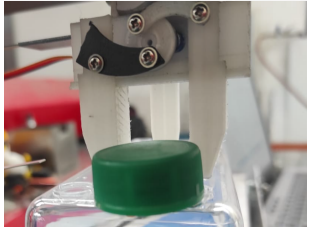
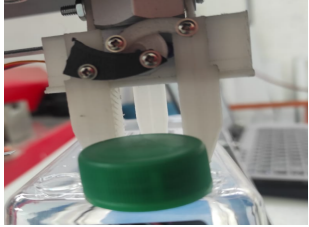
Además, se pudo evidenciar que el protocolo de comunicación que permite la apertura y cierre de la compuerta funciona de manera correcta. Por otro lado, se puede evidenciar que el sensor presenta ciertas limitaciones al depender del código de calibración y las condiciones que determinan los colores puesto que si el prototipo cambia de locación, iluminación, entre otros factores externos puede presentar errores de detección.

9.4. Prueba Subsistema Pick&Place

Esta prueba tiene como objetivo evaluar el movimiento del subsistema, el funcionamiento del Pistón acoplado con el Gripper, la apertura del Gripper, y la velocidad a la que se moverá el subsistema. Para esto se considera realizar pruebas por separado, es decir, primero se realiza las pruebas de movimiento del subsistema, por consiguiente se realiza del pistón que será el que baje para que se pueda tomar una tapa, y la apertura y cierre del Gripper; Para concluir con pruebas del subsistema en general.

- (a) Gripper: Para comprobar la apertura y cierre del gripper se procede a calibrar el ángulo que es el que designa cuanto se cierra y se abre el gripper, este ángulo se define en el programa de Arduino con la librería Servo. A continuación, en la Tabla 40 se presentan los resultados de la prueba.

Tabla 51. Resultados Prueba Gripper

Ángulo de cierre	Distancia entre dedos	Agarre
0°	34 mm	
45°	31 mm	
90°	28 mm	
135°	21 mm	
180°	17 mm	

Con los ángulos de cierre se pudo observar que los ángulos idóneos para la aplicación son los de 0°(Apertura) y 90°(Cierre), que corresponden a una distancia entre dedos de 34mm y de 28mm respectivamente asegurando que el gripper tome una tapa y la suelte.

- (b) Pistón y fines de carrera: Esta prueba tiene como objetivo evaluar el funcionamiento de los fines de carrera, y verificar el control del pistón. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 41.

Tabla 52. Resultados Prueba Pistón y fines de carrera

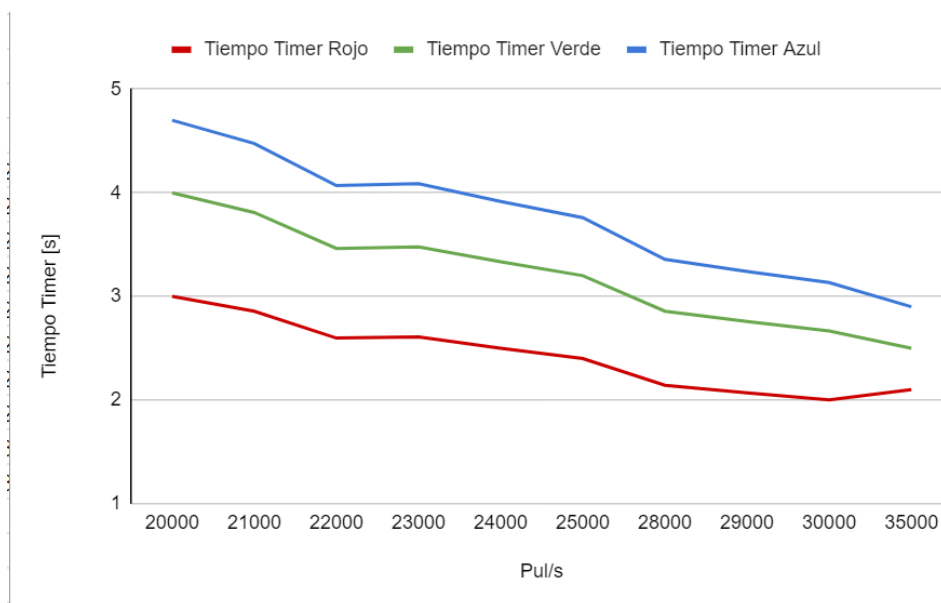
Prueba	Tiempo de bajada [s]
1	0.47
2	0.45
3	0.46
4	0.43
5	0.45

Con los resultados obtenidos se pudo observar que el pistón tiene un control de set y reset, por lo que la velocidad de bajada no puede ser controlada. Además, con esta prueba se pudo determinar el momento en el cual el pistón baja para posteriormente tomar una tapa de la banda de transporte.

- (c) Movimiento del subsistema: Para esta prueba se tomaron parámetros iniciales como las distancias de los depositos respecto a la posición inicial, así también se estima los pulsos por segundo con los que debe comenzar en este caso se consideraron 20000 pul/s. A continuación, en la Tabla 42 se puede observar el tiempo de timer utilizado y la distancia que recorre el subsistema. Adicionalmente, en la Figura 75 se presentan los resultados de las diferentes pruebas realizadas para lograr obtener la cantidad de pulsos correcta para la aplicación.

Tabla 53. Resultados Prueba Movimiento Pick&Place

Posición	Distancia	Tiempo Timer	Imagen
Rojo	49cm	2.1	
Verde	59 cm	2.5	
Azul	69 cm	2.9	

**Figura 75.** Gráfica Tiempo vs Pulsos/s

Con estos resultados se puede considerar que el subsistema se mueve a una velocidad aproximada de 23.6 cm/s obteniendo una velocidad coherente de clasificación considerando las limitaciones del servomotor.

9.5. Funcionamiento del prototipo

Para verificar y validar el funcionamiento del prototipo se considero dos grupos de pruebas que son pruebas de eficiencia y precisión, robustez.

- Pruebas de Eficiencia y precisión: Para las pruebas de eficiencia se consideraran los siguientes parámetros: número de tapas clasificadas por minuto, y para las pruebas de precisión se considera la calidad de detección con los contadores internos y recepción de señales del Arduino. Para validar esta prueba se colocaron tapas en orden aleatorio y se puso en marcha el prototipo el número de tapas que se considero clasificar son: 3, 4, 5, ,6, 8, 10,13, 15, 18, 20, 23, 25. Con 25 como número de tapas maximo a clasificar según el diseño. En la Tabla 43 y la Figura 76, se pueden observar los resultados obtenidos en esta prueba.

Tabla 54. Resultados Prueba de Eficiencia

N Tapas	Detección Correcta	Detección In-correcta	t promedio/tapa
3	3	0	12,27
4	4	0	13,26
5	5	0	11,85
6	6	0	11.3
8	8	0	10.13
10	10	0	9.39
12	12	0	10.35
15	15	0	11.77
18	18	0	10.2
20	19	1	10.42
22	21	1	12.05
25	24	1	12.1

Como se puede observar en la Figura 76, el tiempo promedio de clasificación por tapa es de 11,25 [s]. Hay que tener en cuenta que el promedio se calculó del tiempo general mas no del tiempo que tarda en clasificar una tapa en especifico, ya que este tiempo si varia dependiendo del color de tapa, al tratarse de un desplazamiento diferente para cada color, como se pudo observar en pruebas anteriores.

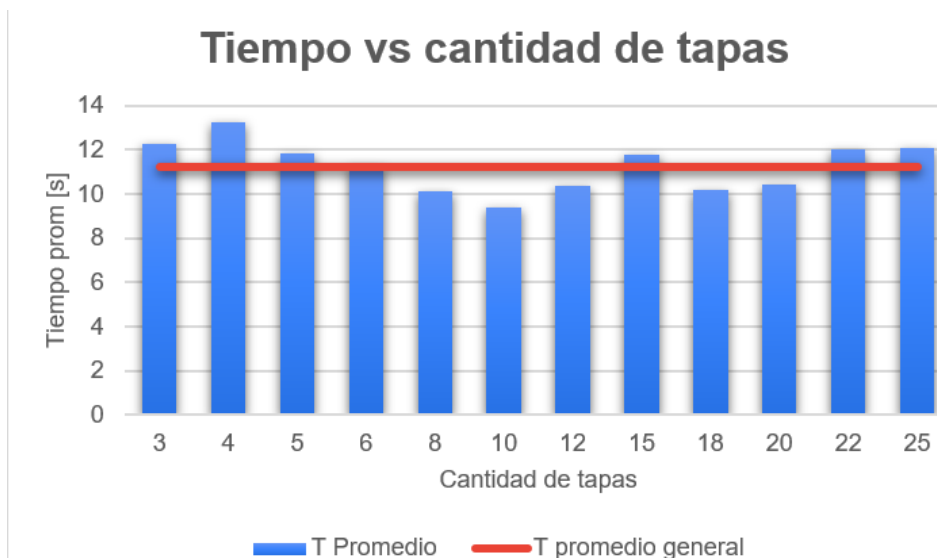


Figura 76. Gráfica Tiempo vs Cant. Tapas

Este tiempo promedio nos permite tener un valor estandar para validar un proceso de clasificación considerando alimentación, transporte, detección, y clasificación.

- Prueba de robustez: Para la prueba de robustez se consideró un número estandar de tapas para validar su funcionamiento con diferentes factores externos que pueden afectar al prototipo como: distintos tonos de colores de las tapas a clasificar, distintos grados de deterioro. Con el fin de validar la prueba se consideran los siguientes parametros: La cantidad de tapas a clasificar es de 6 por ser un numero de tapas coherente para verificar el prototipo, los tonos a probar son verde claro, celeste, dorado oscuro (este último color se tomo en cuenta ya que en las pruebas detección el sensor lo asemejaba con el rojo), así mismo se colocaran 6 tapas de diferentes colores y se visualizará la capacidad del prototipo para discretizar las tapas según su tono de color. En la Figura 77, se puede observar las tapas y los colores a verificar en la prueba. En la Tabla 44, se puede observar los resultados obtenidos de esta prueba, cabe mencionar que para ahorrar espacio se designo letras a los colores para su mejor redacción y ubicación en la tabla las letras son: A:Azul, R:Rojo, V:Verde, D:Dorado, Vc:Verde claro, C:Celeste, O:Otro.

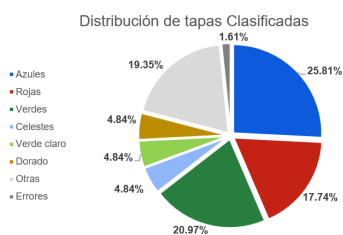


Figura 77. Colores de tapas a utilizar en la prueba

Tabla 55. Resultados Prueba de Robustez

NPrueba	Distribución de tapas	Clasificación Correcta
1	A:3 - C:3	5
2	R:3 - D:3	6
3	V:3 - Vc:3	6
4	O:6	6
5	R:1-V:1-A:1-O:3	5
6	R:2-V:2-A:2	6
7	A:4-C:2	6
8	R3:-V:1-A:1-O:1	6
9	R:1-V:3-A:1-O:1	6
10	R:1-V:1-A:1-O:1	6

A partir de estos datos se pudo realizar la gráfica de distribución de clasificación que es la que nos muestra la robustez y capacidad del prototipo sometiendo a detectar diferentes colores de tapas incluyendo algunas variaciones de tonos. Figura 78

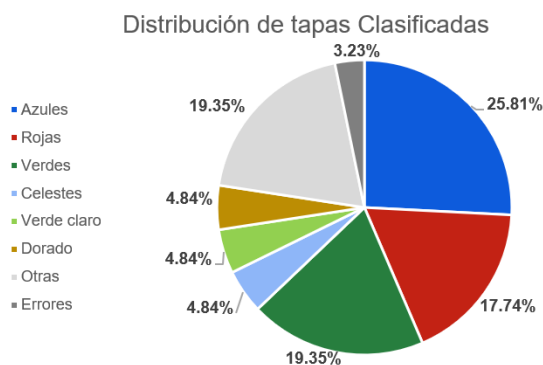


Figura 78. Distribución de Clasificación

10. Conclusiones

- Se implementó un prototipo de clasificador de tapas con dimensiones de 1450 mm x 680 mm x 1460. mm y un peso aproximado de 350 kg, mostrando el funcionamiento de todos los mecanismos que integran al prototipo como el alimentador, banda transportadora, subsistema Pick & Place, para brindar una clasificación correcta de las tapas de color Rojo, Azul, Verde, Otro (Celestes, Doradas, Verde Claro, Blanca).
- El prototipo cuenta con los mecanismos para la alimentación, transporte, y manipulación de tapas lo que asegura una clasificación precisa de las tapas Rojas, Azules, Verdes, y las que tienen un color diferente a los ya mencionados.
- El prototipo cuenta con un interfaz humano máquina, que permite al usuario visualizar el proceso de manera clara e intuitiva incluyendo todos los mecanismos, contadores que presentan el rendimiento del prototipo.
- El prototipo implementado cuenta con un protocolo de comunicación a velocidad de 115200 bits/s, para el control del Gripper y la compuerta. Además, esta velocidad de comunicación es muy importante para la calibración del sensor ya que si se cambia los resultados en la detección pueden ser erróneos al momento de ejecutar un proceso de clasificación.
- El prototipo cuenta con un subsistema pick&place que se mueve a una velocidad promedio de 23.6 cm/s, considerando los límites de funcionamiento del servomotor utilizado. .
- El prototipo cuenta con un mecanismo pick&place que está integrado por: un tornillo sin fin accionado por un servomotor, un actuador eléctrico tipo (pistón), y un Gripper colocado al final del pistón. Este mecanismo puede moverse a una velocidad promedio de 23.6 cm/s, el pistón baja a una velocidad no regulable de 16.67 cm/s, y el Gripper tiene una distancia de dedos de 34 mm (Abierto) y 28 mm (cerrado).
- El sensor de color de TCS3200 tarda un tiempo en detectar el color de la

tapa por lo que se tuvo que colocar la compuerta para que detenga la tapa y se pueda detectar de una manera correcta.

- El prototipo clasifica una tapa en un tiempo promedio real de 11.25 s/tapa, este promedio real se considera desde el alimentador hasta la posición final de una tapa indistintamente del color para demostrar su eficiencia.
- Se llevó a cabo pruebas de cada mecanismo para evaluar su comportamiento con diferentes cargas de trabajo con el fin de verificar que el prototipo cumple con los requisitos establecidos y que es capaz de clasificar las tapas según su color de manera precisa y confiable.
- El prototipo de un clasificador de tapas por color es capaz de clasificar tapas de color Rojo, Azul, Verde de manera efectiva, y es capaz de discretizar diferentes tonos de los colores establecidos como: Verde claro, celeste, dorado con los que se realizó las pruebas con un 1.61% de error, es decir, que depende del tono del color para poder ser discretizado.
- El prototipo es capaz de clasificar tres tipos de color (Rojo, Azul, Verde) y despreciar las tapas que no sean de este color. Dado que la calibración y el diseño del circuito de control permite la realización de recalibraciones se puede agregar otro color reemplazando uno de los tres ya mencionados.
- El diseño y conclusión de un prototipo de un clasificador de tapas por color, junto al cumplimiento de los objetivos específicos ha permitido desarrollar un sistema eficiente y preciso para la clasificación de tapas según su color, presentando una alternativa a un proceso como lo es el reciclaje de tapas plásticas que contribuye a la optimización y la apertura de oportunidades para su implementación en la industria.

11. Recomendaciones

- Se recomienda colocar un controlador de velocidad FA-SCA para tener un mejor control de la velocidad de bajada del actuador (pistón). Esto permitirá que el prototipo tenga un mejor control de bajada lo que podría mejorar el

agarre del subsistema pick&place y así tenga un proceso de clasificación más fluida.

- Se recomienda colocar una cubierta al prototipo cuando no esté en uso dado que los depositos no tienen ninguna cubierta y la plancha tiene agujeros donde puede entrar algún objeto que puede atorarse en la guía lineal y podría generar problemas en futuros usos.
- El prototipo presenta limitaciones al tratarse de velocidad de clasificación, ya que al momento de tomar una tapa y dirigirse a la posición deseada se pierden unos segundos que si se cambia a otro mecanismo de clasificación se puede obtener mejores tiempos de clasificación.
- El prototipo discretiza las tapas por color mediante el sensor de color TCS3200 el mismo que al detectar se tarda un tiempo en detectar el color por lo que se recomienda implementar un proceso de visión artificial que mejore este tiempo de detección.
- Se recomienda tener cuidado al momento de conectar el prototipo al tomacorriente, siempre verificar que las protecciones estén encendidas, y que el regulador de voltaje este alimentando los 5.2 V que son los que alimentan tanto al Arduino, sensor, servos, relés, dado que si existe un problema con la alimentación se corre el riesgo de quemar un componente.
- Se recomienda lubricar las guías lineales y engrasar el tornillo sin fin, ya que, durante un ciclo normal de funcionamiento, se estima que el prototipo se moverá de ida y vuelta al menos unas 6 veces como mínimo y hasta unas 50 veces como máximo. Este movimiento repetitivo puede causar desgaste tanto en el tornillo como en las guías lineales. Por lo tanto, es recomendable aplicar lubricación y engrase antes de reutilizar el prototipo nuevamente.
- Se recomienda realizar un recambio de piezas especialmente las que son impresas en 3D debido a que están integradas en mecanismos que por su movimiento repetitivo están sometidas a una gran fricción entre ellas lo que provoca un desgaste en estas piezas.

- Se recomienda realizar un mantenimiento general al prototipo considerando, medición de voltajes, corrientes, revisión de conexiones, revisión general del estado de módulos, drivers, etc. Así también se debe realizar mantenimiento a los mecanismos que integran al prototipo. El mantenimiento nos ayuda para revisar y detectar si se requiere cambiar algún componente o pieza.

REFERENCIAS

- [1] M. Solíz, “Ecología política y geografía crítica de la basura en el ecuador,” *Letras verdes*, vol. 17, no. 17, pp. 4–28, Marzo 2015.
- [2] E. Arias, “Aporte al análisis sobre el impacto ambiental y el impacto social que genera el reciclaje de tapas plásticas en la fundación sanar,” Ph.D. dissertation, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN, Bogotá. D.C., Colombia, 2016.
- [3] M. Goedkoop, S. Effting, y M. Collignon, *Anexo Eco Indicador '99*, 12th ed., PRE Consultants B.V., 3821 BB Amersfoort, Países Bajos, Noviembre 1999.
- [4] G.I.EICOM, *G.I.EICOM tipos de sorters*, 5th ed., G.I.EICOM, Tlalnepantla, Edo. de México, Diciembre 2020.
- [5] L. ELEKTRONIKA, *Robots Cartesianos*, 3rd ed., LARRAIOZ ELEKTRONIKA, Gipuzkoa, España, Noviembre 2020.
- [6] L. Ortiz y R. Paredes, “Diseño y construcción de una celda robotizada de clasificación de objetos en movimiento por medio de un robot paralelo tipo delta mediante visión artificial y redes neuronales para el laboratorio de robótica industrial de la universidad de las fuerzas armadas espe sede latacunga,” Ph.D. dissertation, UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS, Latacunga, Ecuador, 2021.
- [7] J. Lluch y J. Mas, “Vision-based sorting and grading of fruits and vegetables: a review,” *Journal of Food Engineering*, vol. 207, pp. 40–49, 2017.
- [8] H. Okamoto y H. Yanagida, “Spectroscopic sensing technology for non-destructive fruit quality evaluation,” *Sensors*, vol. 15, no. 12, pp. 86–105, 2015.
- [9] J. D. Filoteo-Razo, J. M. Estudillo-Ayala, J. C. Hernández-García, D. Jáuregui-Vázquez, R. Rojas-Laguna, F. J. Valle-Atilano, y L. F. Sámano-Aguilar, “Sensor rgb para detectar cambios de color en piel de frutas,” *Acta Universitaria*, vol. 26, no. 1, pp. 24–29, 2016.

- [10] K. corporation, *¿Que es un sensor?*, 18th ed., LARRAIOZ ELEKTRONIKA, Ciudad de México, México, Septiembre 2022.
- [11] B. E. Corp., *QCM50*, Banner Engineering Corp., Enero 2020.
- [12] S. Electric, *Photo-electric sensor XUB*, Schneider Electric, Diciembre 2014.
- [13] O. Corporation, *SENSORES FOTOELÉCTRICOS E3FA/E3RA/E3FB/E3RB*, OMRON Corporation, Tokio, Japón, Enero 2012.
- [14] T. Inc, *TCS230PROGRAMMABLECOLOR LIGHT TOFREQUENCY CONVERTE*, TAOS Inc., Tokio, Japón, Enero 2003.
- [15] C. Luis, *Interfaces de Comunicación Industrial*. EPN - Ecuador, 2021.
- [16] N. Belji y Q. Cristian, "Diseño de una máquina clasificadora de botellas pet por color mediante un control automático en huancayo - junín - 2021," Ph.D. dissertation, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica, Junin, Argentina, 2021.
- [17] A. Aguilar, "Diseño de un sistema clasificador de manzanas por color mediante visión artificial para la empresa fresh natural c.i.," Ph.D. dissertation, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA, Quito, Ecuador, 2017.
- [18] A. Mora, J. Granda, y P. Molina, "Clasificadora de tapas plásticas por color," Ph.D. dissertation, UNIVERSIDAD EIA ENVIGADO, Medellín, Colombia, 2018.
- [19] Direct industry / máquina clasificadora para reciclaje msosrt opt. [En línea]. Disponible: <https://www.directindustry.es/prod/allgaier-process-technology/product-13878-2535793.html> (2023)
- [20] Grotech/multifuction color sorter.
- [21] C. Riva, *Diseño Concurrente*, 1st ed. UPC, 2002.
- [22] R. G. Budynas y N. J. Keith, *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*, 9th ed. McGrawhill, 2012.

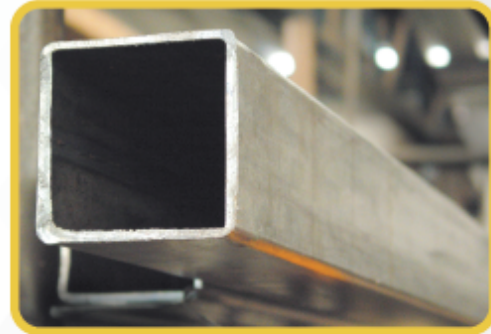
- [23] S. Lechón, “OptimizaciÓn del diseÑo mecatrÓnico de un gripper tipo garra de dos dedos.” Ph.D. dissertation, UNIVERSIDAD Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2022.
- [24] A. De la Cruz, J. Donoso, O. Gonzales, y R. Soto, “Implementaci3n de una máquina didáctica clasificadora para el aprendizaje de procesos mecatr3nicos,” *Enfoque UTE*, vol. 8, no. 3, pp. 44–51, Marzo 2017.
- [25] Deltaww. [En línea]. Disponible: <https://www.deltaww.com/en-us/products/PLC-Programmable-Logic-Controllers/3598> [Fecha de consulta: Mayo 2022]

Anexo A: Catálogo Dipac para tubo estructural rectangular

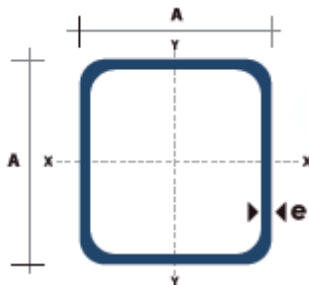
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



TUBERÍA



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

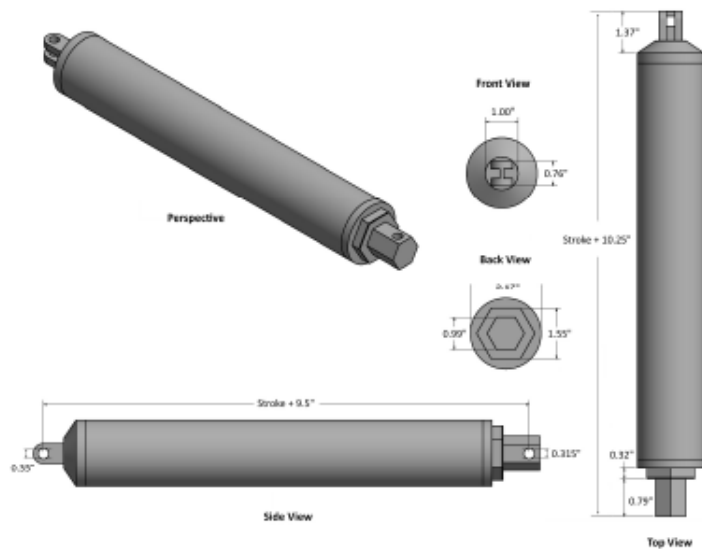
www.dipacmanta.com

Figura 1. Extracto catálogo DIPAC pp.22

Anexo B: Datasheet Actuador eléctrico

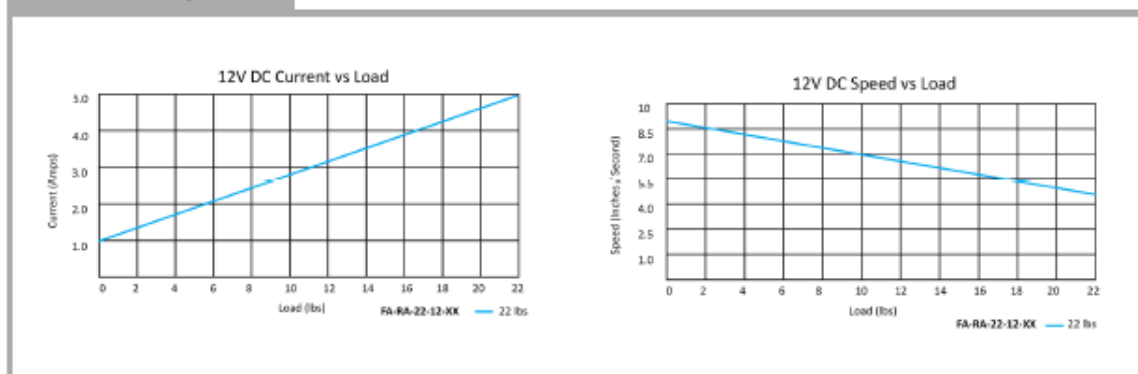
Dimensions and Weight

Stroke	Retracted Length	Extended Length	Weight
2"	11.5"	13.5"	3.50 lbs
4"	13.5"	17.5"	3.75 lbs
6"	15.5"	21.5"	4.00 lbs
8"	17.5"	25.5"	4.25 lbs
10"	19.5"	29.5"	4.60 lbs
12"	21.5"	33.5"	4.80 lbs
18"	27.5"	45.5"	6.00 lbs
24"	33.25"	61.25"	6.75 lbs
28"	37.25"	65.25"	7.25 lbs
32"	41.25"	69.25"	7.75 lbs



FA-RA-22-12-X

Performance Graphs



www.firgelliauto.com

sales@firgelliauto.com

Figura 1. Extracto Datasheet Actuador lineal pp.2

Anexo C: Datasheet Microservo SG-90

9g Tower Pro Servo

Tower Pro 9g servo

These Micro strong and made to last, great for planes. The servos include 3 servo arms.

Specs:

- DIMENSION: 26mm*13mm*24mm
- WEIGHT: 9G
- OPERATING SPEED: 0.12sec/60degree(4.8V);0.11sec/60degree(6V)
- STALL TORQUE: 1.2kg/cm or 17oz-in. (4.8V) 1.6kg/cm or 22oz-in.(6.0V)
- OPERATING VOLTAGE: 4.8V~6.0V
- FEATURE: 3 pole wire, all nylon gear, connector wire length: 15cm

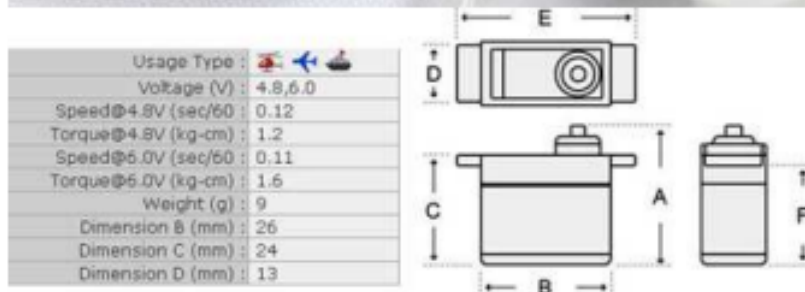
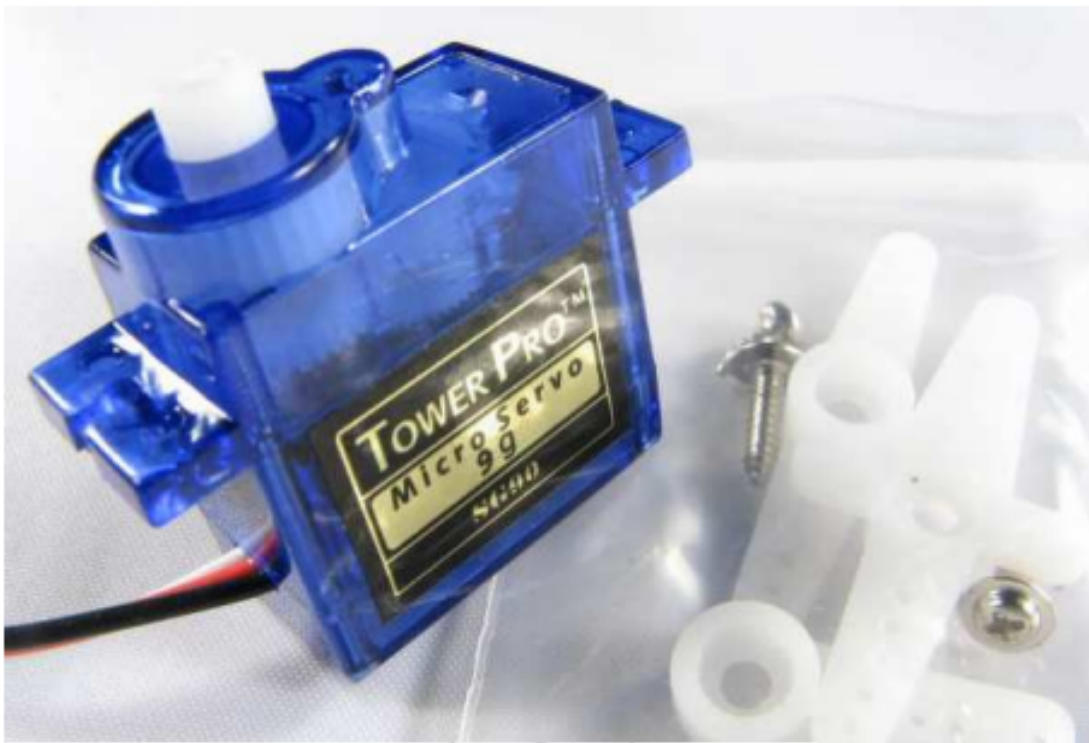
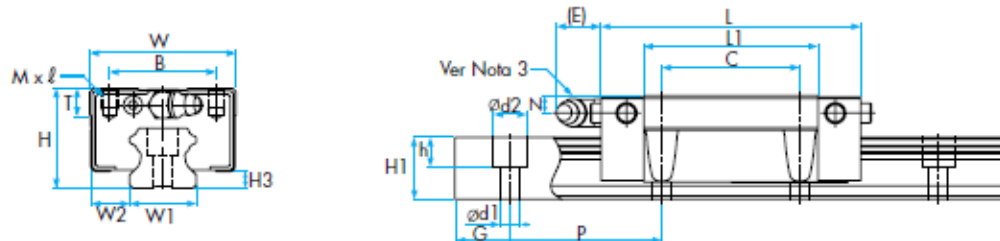


Figura 1. Extracto datasheet microservo SG-90 TowerPro pp.4

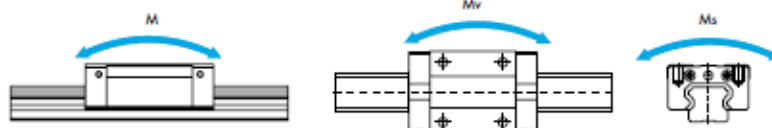
Anexo D: Catálogo Hepcomotion HLG guías lineales

Series HLG--R, Series HLG--RL



N° de Ref.	Dimensiones Externas			Dimensiones del bloque HLG								H3
	Altura H	Anchura W	Longitud L	B	C	M x l	L1	T	N	E	Engrasador	
HLG15R	28	34	57	26	26	M4 x 5	40.8	6	10	6	A-M4	4.7
HLG15RL			65.3				49.1					
HLG20R	30	44	72.7	32	36	M5 x 6	53.1	8	7.5	12	B-M6F	6
HLG20RL			88.6				69					
HLG25R	40	48	83	35	35	M6 x 8	58.3	8	13	12	B-M6F	7
HLG25RL			102.9				78.2					
HLG30R	45	60	97.8	40	40	M8 x 10	70.8	8	10.3	12	B-M6F	7.5
HLG30RL			120				93					
HLG35R	55	70	110	50	50	M8 x 12	80.8	10	15	12	B-M6F	9
HLG35RL			135.4				106.2					
HLG45R	70	86	139	60	60	M10 x 17	101.9	15	20	16	B-PT1/8	10
HLG45RL			170.8				133.7					
HLG55R	80	100	163	75	75	M12 x 18	117.5	18	21	16	B-PT1/8	13
HLG55RL			201.1				155.6					

N° de Ref.	Dimensiones guía HLG						Rafio de Carga Inicial		Capacidad de Momento			Peso	
	Anchura W1 20.00	W2	Altura H1	Valor G	Desplaz P	d1 x d2 x h	C kN	Co kN	M	Mv	Ms	HLG Bloques Kg	HLG Guía kg/m
HLG15R	15	9.5	13	10	60	4.5 x 7.5 x 5.3	9.9	16.2	115	115	129	0.18	1.3
HLG15RL							11.2	19.3	165	165	154	0.23	
HLG20R	20	12	16.5	10	60	6 x 9.5 x 8.5	14.9	23.9	221	221	251	0.31	2.2
HLG20RL							17.8	30.6	369	369	322	0.41	
HLG25R	23	12.5	20	10	60	7 x 11 x 9	22.1	33.1	337	337	398	0.53	3.0
HLG25RL							28.1	43.6	596	596	525	0.71	
HLG30R	28	16	26	12	80	9 x 14 x 12	33.0	57.1	711	711	828	0.9	4.85
HLG30RL							40.9	73.6	1203	1203	1067	1.1	
HLG35R	34	18	29	12	80	9 x 14 x 12	43.8	74.6	1062	1062	1298	1.5	6.58
HLG35RL							54.4	96.2	1797	1797	1674	2.01	
HLG45R	45	20.5	38	16	105	14 x 20 x 17	70.6	92.8	2257	2257	1796	2.89	11.03
HLG45RL							87.6	126.5	3781	3781	2448	3.74	
HLG55R	53	23.5	44	20	120	16 x 23 x 20	104.0	133.6	3810	3810	3094	4.28	15.26
HLG55RL							129.1	182.1	6410	6410	4220	5.59	



Notas:

1. Ver página 27 para la configuración de las referencias y detalles de pedido.
2. Para más detalles sobre la posición del primer agujero 'G', vea la página 4.
3. Los bloques de tamaño 15 utilizan una boquilla de engrase recta (A-M4). Ver la página 8 para más información.

Figura 1. Extracto catálogo HLG pp.5

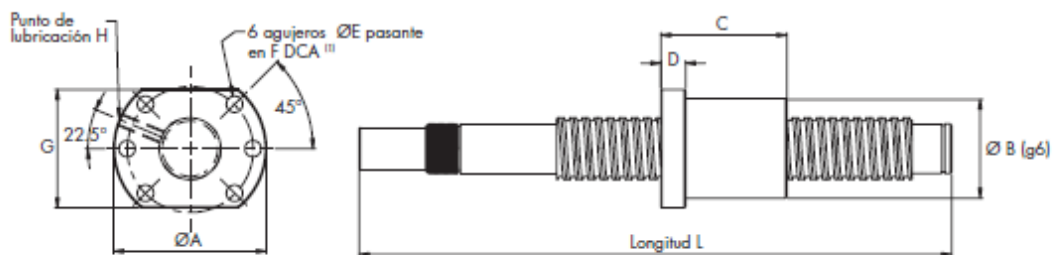
Anexo E: Catálogo HepcoMotion BSP Husillo de bolas premier

Series BSPS

Programa de Envío Rápido

DIN 69051 Forma B

Tuercas individuales
Disponibilidad Estándar C7 Laminado*
C5 Rectificado



(1) DCA = Diámetro de Centros de Agujeros

DH – Diámetro husillo, P – Paso, K – Rigidez (N/µm)

Tuerca Nº de Ref.	Max longitud L (C5)	Max longitud L (C7) *	DH	P	A	B	C	D	E	F	G	H	Carga dinámica Ca (kN)	Carga estática Coa (kN)	K
*BSPS1605R	800	2800	16	5	48	28	50	10	5.5	38	40	M6	7.8	17.9	200
(1)*BSPS1610R	800	2800	16	10	48	28	57	10	5.5	38	40	M6	7.21	12.49	150
(1)*BSPS2005R	1000	2800	20	5	58	36	51	10	6.6	47	44	M6	11.3	23.8	250
(1)*BSPS2505R	1500	2800	25	5	62	40	51	10	6.6	51	48	M6	12.8	31.1	350
*BSPS2510R	1500	2800	25	10	62	40	85	12	6.6	51	48	M6	19.4	38.7	330
(1)*BSPS3205R	1800	2800	32	5	80	50	52	12	9	65	62	M6	14.5	41.5	400
*BSPS3210R	1800	2800	32	10	80	50	90	12	9	65	62	M6	33.9	71.7	400
(1)*BSPS4005R	2000	2800	40	5	93	63	55	14	9	78	70	M8	16.1	53.3	490
*BSPS4010R	2000	2800	40	10	93	63	93	14	9	78	70	M8	39.1	95.2	500
BSPS5010R	2500	2800	50	10	110	75	93	16	11	93	85	M8	44.5	125.0	650

Tuercas marcadas * forman parte del 'Programa de Envío Rápido'

Tuercas marcadas (1) pueden suministrarse con la rosca hacia la izquierda (no forma parte del 'Programa de Envío Rápido')

Combinaciones C5 husillo con tuerca con ligera precarga (A2)
C7 husillo con tuerca sin juego (A1)
C7 husillo con tuerca y juego axial (A0)

Juego axial (A0) figuras máximas: Ø 16 – 40: 0.08 mm, Ø 50: 0.12 mm

Los husillos de Ø 25 mm y superiores están disponibles en longitudes de hasta 6 metros, previa petición especial.

Si la combinación que requiere no está listada, por favor contacte con Hepco.

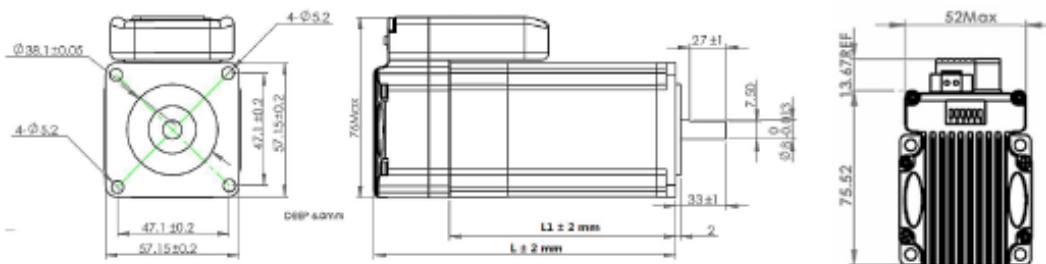
Anexo F: Datasheet Servomotor integrado iSV57T

1. Introduction

An iSV57T servo motor is a NEMA23 (57mm) brushless motor integrated with a 16-bit magnetic encoder and servo driver, which making performance better and tuning easier. And the compact design saves installation space, eliminates encoder and motor wiring time, reduces interference and costs.

2. Specifications

Parameter	Min	Typical	Max	Unit
Input Voltage	20	36	50	VDC
Continuous Current	0	-	6.0	A
Pulse Input Frequency	0	-	300	kHz
Pulse Voltage	5	5	24	V
Logic Signal Current	7	10	16	mA
Isolation Resistance	100	-	-	MΩ



Part Number	iSV57T-090	iSV57T-130	iSV57T-180
Rated Power(W)	90	130	180
Rated Torque(N.m)	0.3	0.4	0.6
Peak Torque(N.m)	0.9	1.2	1.8
Rated Speed(rpm)	3000	3000	3000
Peak Speed(rpm)	4000	4000	4000
Rated Voltage(Vdc)	36	36	36
Weight(kg)	0.95	1.25	1.54
L1(mm)	75	95	115
L(mm)	108	128	148

3. Connectors and Pin Assignment

Control Signal Connector			
Pin	Name	I/O	Description
1	PUL+	I	Pulse signal: Pulse active at rising edge; 4-5V when PUL-HIGH, 0-0.5V when PUL-LOW. Minimal pulse width of 2.5μs. It's recommend dutycycle 50%. Add a resistor for current-limiting at +12V or +24V input logic voltage (1K for +12V, 2k for +24V).
2	PUL-	I	
3	DIR+	I	DIR signal: Pulse active at rising edge; 4-5V when PUL-HIGH, 0-0.5V when PUL-LOW. The low/high voltage levels to represent two directions of motor rotation. Add a resistor for current-limiting at +12V or +24V input logic voltage (1K for +12V, 2k for +24V). The DIR signal at least 5μs in advance of PUL signal
4	DIR-	I	
5	ALM+	O	Alarm Signal: OC output signal, activated when one of the following protection is activated: over-voltage and over current error. They can sink or source MAX 50mA current at 24V. By default, the impedance between ALM+ and ALM- is low for normal operation and becomes high when any protection is activated. The active impedance of alarm signal is software configurable.
6	ALM-	O	

Note : The enable signal is not configurable, it is enabled on power-up by default, and cannot be modified by software.

Figura 1. Extracto datasheet servomotor integrado iSV57T pp.2

Anexo G: Datasheet motor a pasos NEMA 17

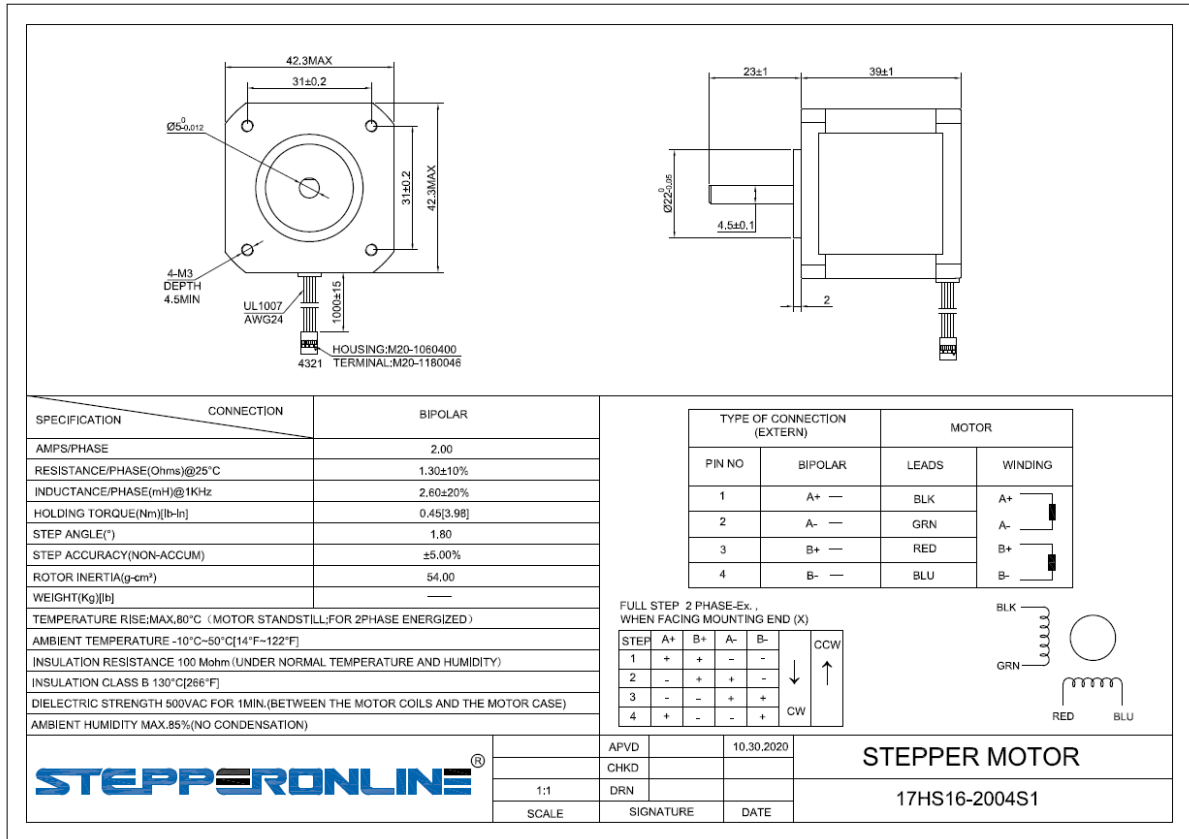


Figura 1. Datasheet motor a pasos NEMA 17

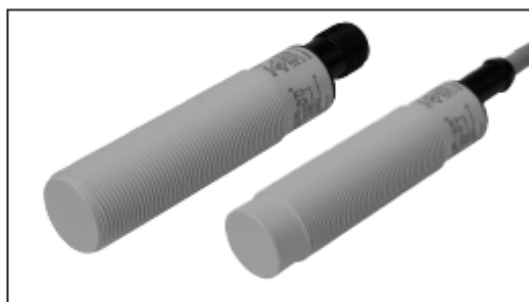
Anexo H: Catálogo Bandas y Bandas PVC

BANDA	MATERIAL	COLOR	CUBIERTA SUPERIOR	CUBIERTA INFERIOR	ESPESOR (mm)	LONAS	RANGO DE TEMPERATURA	LÍMITE DE ROTURA (N/)	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
GRPVC2.2	PVC	VERDE	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	2,2	2	-5(-15)+80(100)	200	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS
GRPVC3	PVC	VERDE	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	3	2	-5(-15)+80(100)	200	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS
BLPVC3	PVC	AZUL	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	3	2	-5(-15)+80(100)	200	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS / GRADO ALIMENTICIO
FDA2	PVC	BLANCO	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	2	2	-15(-25)+80(100)	120	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS / GRADO ALIMENTICIO
FDA3	PVC	BLANCO	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	3	2	-5(-15)+80(100)	200	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS / GRADO ALIMENTICIO
FDA4	PVC	BLANCO	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	4	2	-5(-15)+80(100)	300	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS
FDA6	PVC	BLANCO	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	6	2	-5(-15)+80(100)	200	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS
BPVC2.5	PVC	NEGRO	LISO	LONA ANTIFRICCIÓN	2,5	2	-5(-15)+80(100)	200	ANTIFRICCIÓN / ANTIABRASIÓN / RESISTE ACEITES Y GRASAS

Figura 1. Catálogo Bandas y Bandas PVC

Anexo J: Datasheet Sensor capacitivo Carlo Gavazzi

Proximity Sensors Capacitive Thermoplastic Polyester Housing Types CA18CAN/CAF.....



- 4TH Generation **TRIPLESIELD™**
- Adjustable sensing distance: 2 - 10 mm Flush or 3-15 mm Non-flush
- Protection: short-circuit, transients and reverse polarity
- Dust and humidity compensation
- Dust or Temperature alarm output
- Rated operational voltage: 10-40 VDC
- Output: DC 200 mA, NPN or PNP
- Standard Output: NO and NC
- LED indications for Power-supply, Target and Stability
- IP67, IP68, IP69K, Nema 1, 2, 4, 4X, 5, 6, 6P, 12
- Cable and M12 connector versions available



Product Description

The CA18CA. capacitive proximity switches feature an improved 4TH Generation **TRIPLESIELD™** technology. Furthermore, these sensors feature increased immunity to electromagnetic interference (EMI), especially to frequency drives. Not only does 4TH Generation **TRIPLESIELD™** feature an increased EMI, but it also increases the immunity to humidity and dust. The implementation of stability indication eases the setup procedure as both Stable ON and Stable OFF positions are

indicated by the green and yellow LEDs.

The sensing distance is increased by 25 % allowing room for additional stable detection.

The Dust Alarm function gives an early warning that the sensing surroundings have to be cleaned.

The Temperature alarm function raises an alarm if the sensing surface goes beyond 60 degree Celcius.

The sensor housing is featuring IP69K as well as approval by ECOLAB for cleaning- and disinfection agents.

Ordering Key

CA18CAN12NAM1

Capacitive proximity switch	CA18
Housing diameter (mm)	18
Housing material	CAN
Housing length	12
Detection principle	C
Rated operating dist. (mm)	12
Output type	N
Output configuration	NA
Connection type	M1

Type Selection

Housing diameter	Sensor type	Output type	Output function	Connection	Rated operating distance (S _a)	Ordering no. Standard	Ordering no. Dust alarm	Ordering no. Temperature alarm
M 18	Flush	NPN	NO+NC	Cable	0 - 8 mm	CA18CAF08NA		
M 18	Flush	NPN	NO+NC	M12 Plug	0 - 8 mm	CA18CAF08NAM1		
M 18	Flush	PNP	NO+NC	Cable	0 - 8 mm	CA18CAF08PA		
M 18	Flush	PNP	NO+NC	M12 Plug	0 - 8 mm	CA18CAF08PAM1		
M 18	Flush	PNP	NO	Cable	0 - 8 mm		CA18CAF08PODU ¹⁾	CA18CAF08POTA ¹⁾
M 18	Flush	PNP	NC	Cable	0 - 8 mm		CA18CAF08PCDU ¹⁾	CA18CAF08PCTA ¹⁾
M 18	Non-Flush	NPN	NO+NC	Cable	0 - 12 mm	CA18CAN12NA		
M 18	Non-Flush	NPN	NO+NC	M12 Plug	0 - 12 mm	CA18CAN12NAM1		
M 18	Non-Flush	PNP	NO+NC	Cable	0 - 12 mm	CA18CAN12PA		
M 18	Non-Flush	PNP	NO+NC	M12 Plug	0 - 12 mm	CA18CAN12PAM1		
M 18	Non-Flush	PNP	NO	Cable	0 - 12 mm		CA18CAN12PODU ²⁾	CA18CAN12POTA ²⁾
M 18	Non-Flush	PNP	NC	Cable	0 - 12 mm		CA18CAN12PCDU ²⁾	CA18CAN12PCTA ²⁾

¹⁾ Replaced by CA18CAF08BPA2IO

²⁾ Replaced by CA18CAN12BPA2IO

Specifications EN 60947-5-2

Rated operating distance (S _a)	Flush mounted sensor	0 - 8 mm (factory setting 8 mm - non-flush mounted) (ref. target 24x24 mm ST37, 1 mm thick, grounded)
Non-flush mounted sensor	0 - 12 mm (factory setting 12 mm), (ref. target 36x36 mm ST37, 1 mm thick, grounded)	

Specifications are subject to change without notice (10.12.2020)

1

Figura 1. Datasheet Sensor capacitivo Carlo gavazzi

Anexo K: Datasheet Sensor de color TCS3200



TCS3200, TCS3210 PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER TAOS099A – AUGUST 2011

- High-Resolution Conversion of Light Intensity to Frequency
- Programmable Color and Full-Scale Output Frequency
- Communicates Directly With a Microcontroller
- Single-Supply Operation (2.7 V to 5.5 V)
- Power Down Feature
- Nonlinearity Error Typically 0.2% at 50 kHz
- Stable 200 ppm/°C Temperature Coefficient
- Low-Profile Lead (Pb) Free and RoHS Compliant Surface-Mount Package

Description

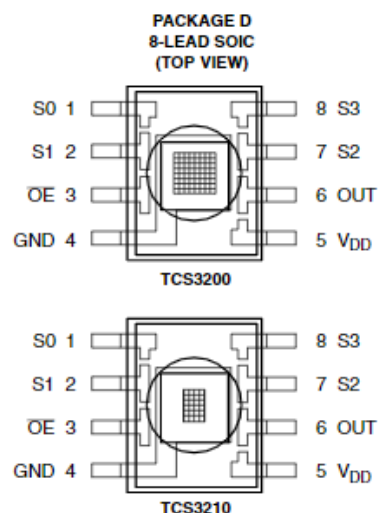
The TCS3200 and TCS3210 programmable color light-to-frequency converters that combine configurable silicon photodiodes and a current-to-frequency converter on a single monolithic CMOS integrated circuit. The output is a square wave (50% duty cycle) with frequency directly proportional to light intensity (irradiance).

The full-scale output frequency can be scaled by one of three preset values via two control input pins. Digital inputs and digital output allow direct interface to a microcontroller or other logic circuitry. Output enable (OE) places the output in the high-impedance state for multiple-unit sharing of a microcontroller input line.

In the TCS3200, the light-to-frequency converter reads an 8×8 array of photodiodes. Sixteen photodiodes have blue filters, 16 photodiodes have green filters, 16 photodiodes have red filters, and 16 photodiodes are clear with no filters.

In the TCS3210, the light-to-frequency converter reads a 4×6 array of photodiodes. Six photodiodes have blue filters, 6 photodiodes have green filters, 6 photodiodes have red filters, and 6 photodiodes are clear with no filters.

The four types (colors) of photodiodes are interdigitated to minimize the effect of non-uniformity of incident irradiance. All photodiodes of the same color are connected in parallel. Pins S2 and S3 are used to select which group of photodiodes (red, green, blue, clear) are active. Photodiodes are $110 \mu\text{m} \times 110 \mu\text{m}$ in size and are on $134\text{-}\mu\text{m}$ centers.



Functional Block Diagram

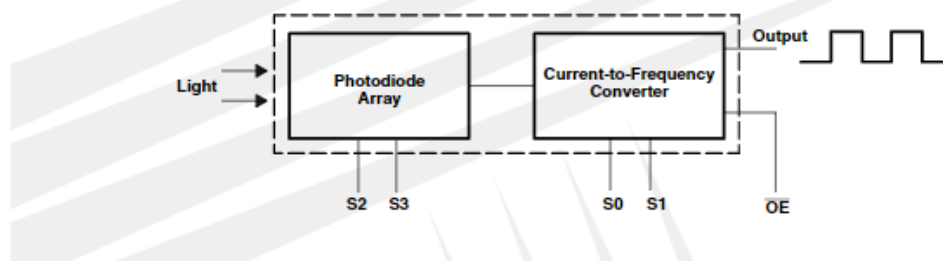


Figura 1. Datasheet Sensor De color TCS3200

Anexo L: Diagrama de flujo PLC-Arduino

Los diagramas de flujo representan la lógica que seguirá el programa del prototipo.

- PLC:

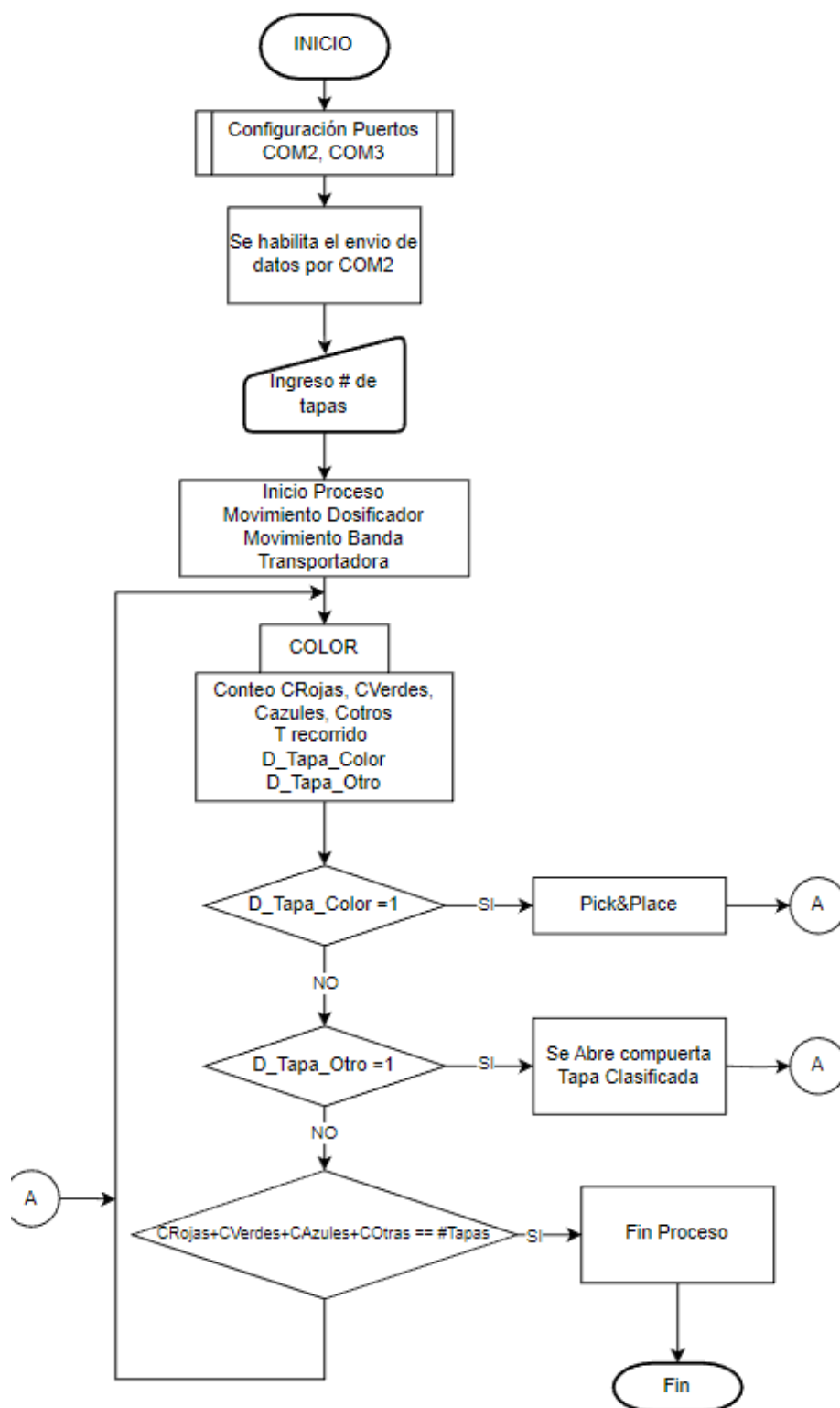


Figura 1. Diagrama de flujo principal PLC

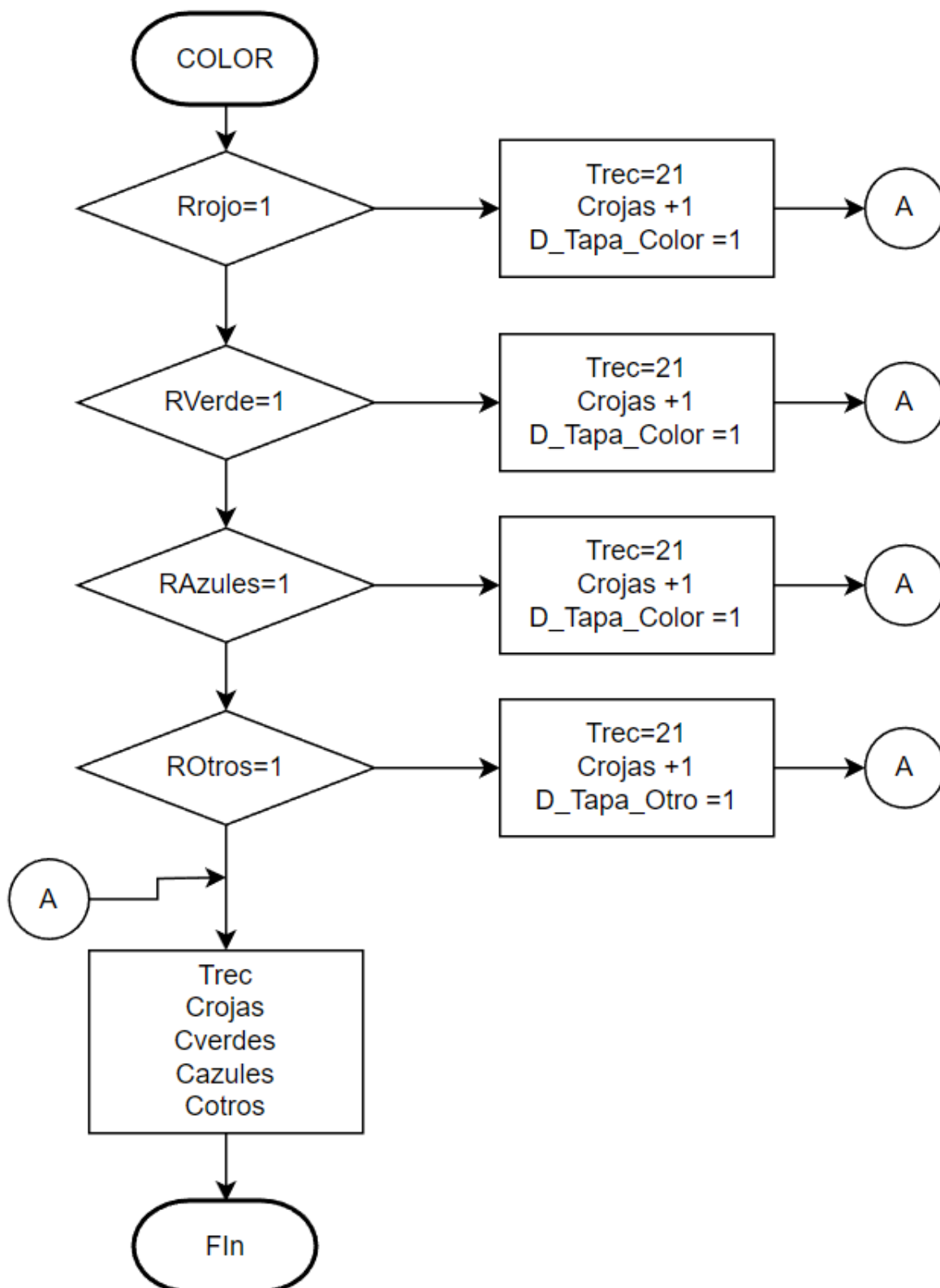


Figura 2. Diagrama de flujo función auxiliar

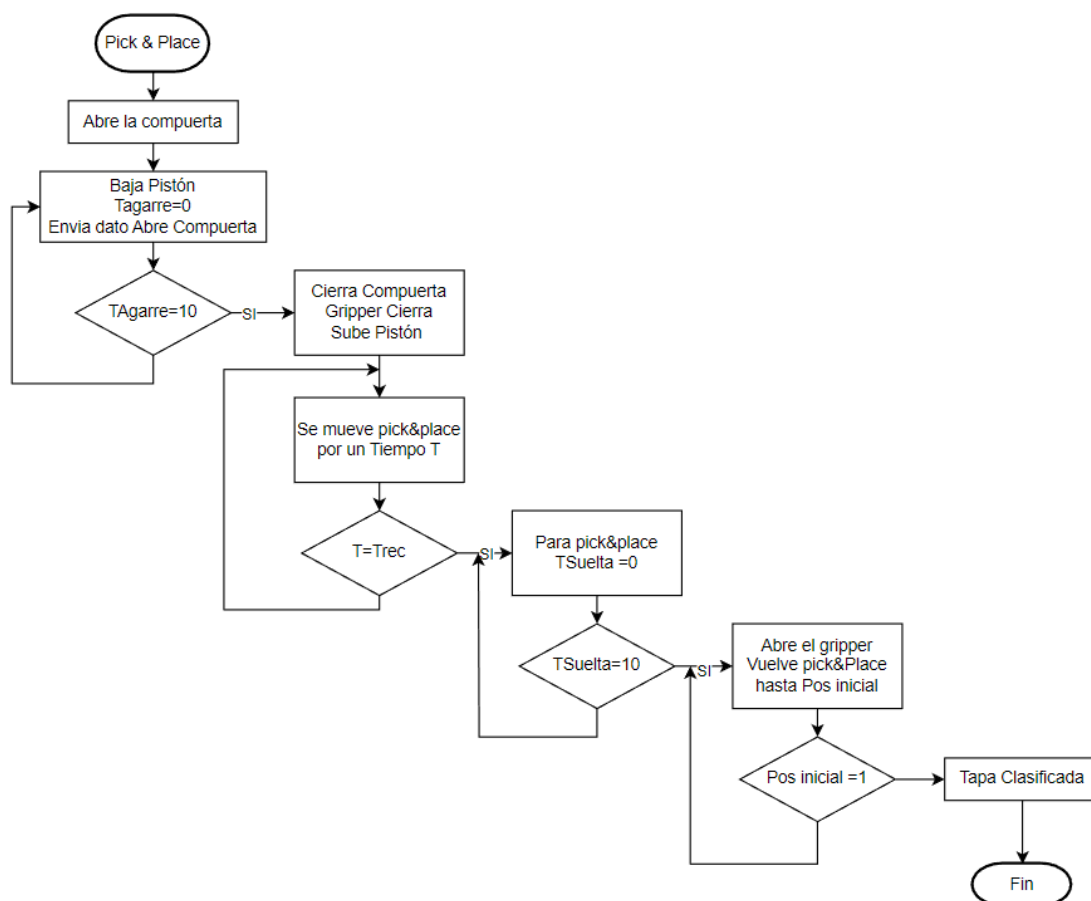


Figura 3. Diagrama de flujo función auxiliar

- Arduino:

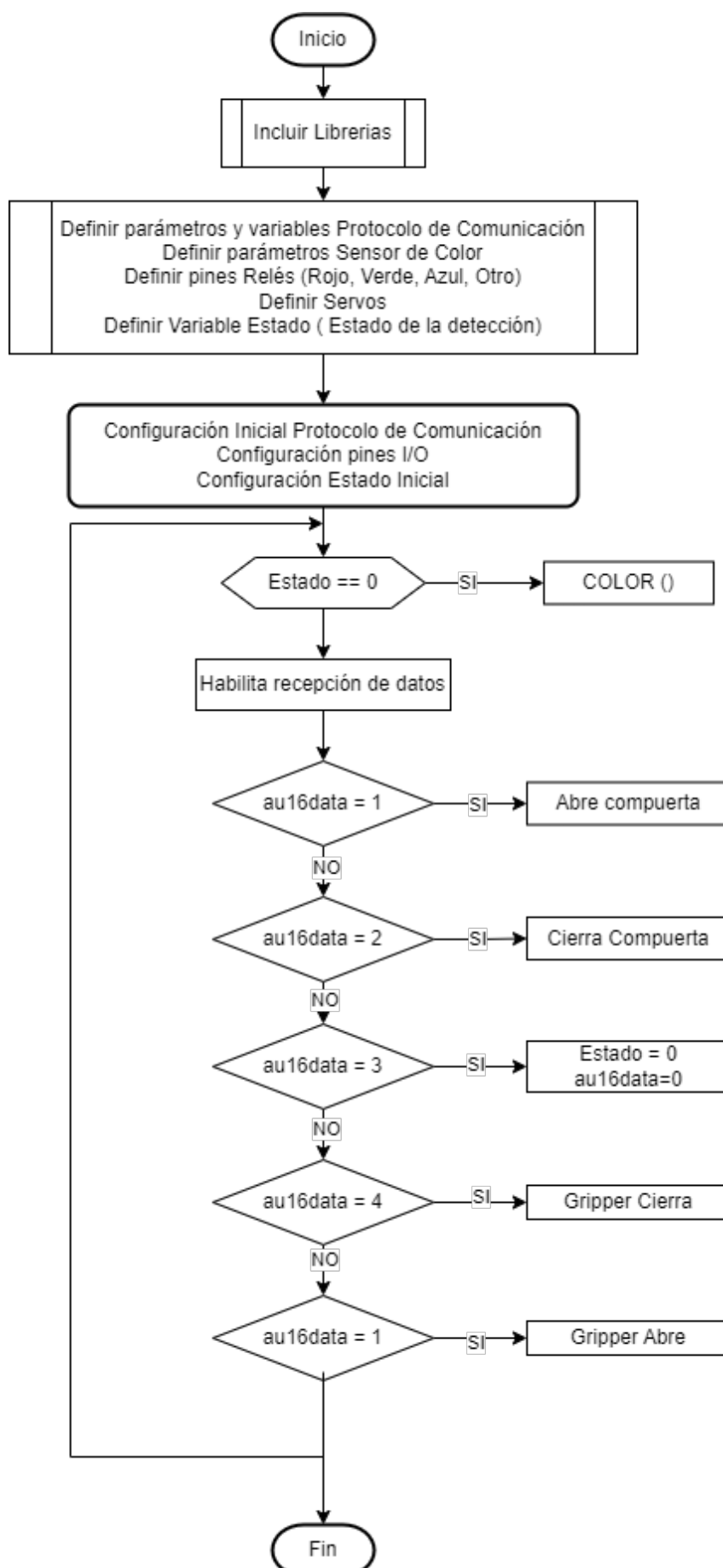


Figura 3. Diagrama de flujo Arduino

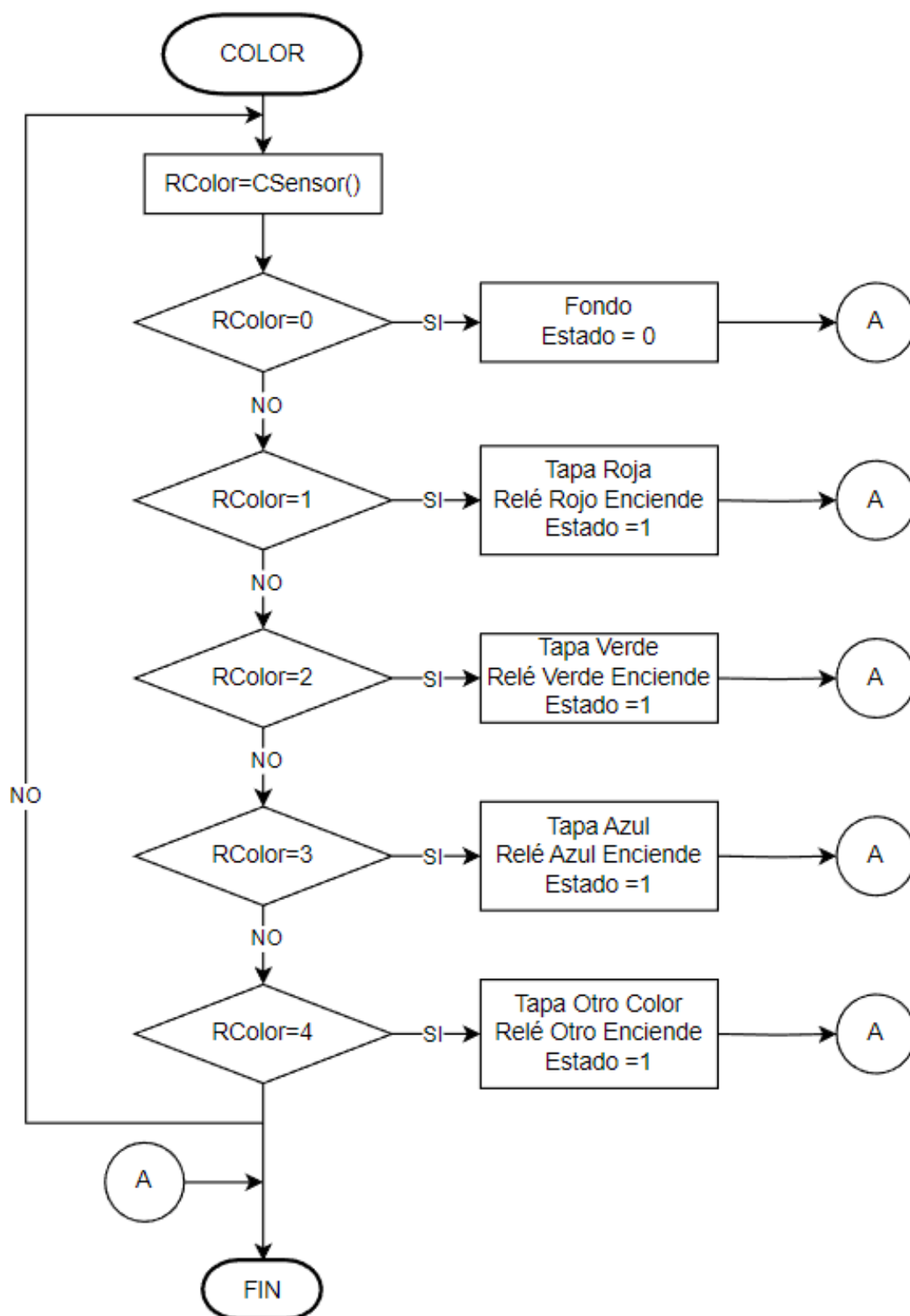


Figura 4. Diagrama de flujo Función que determina el COLOR

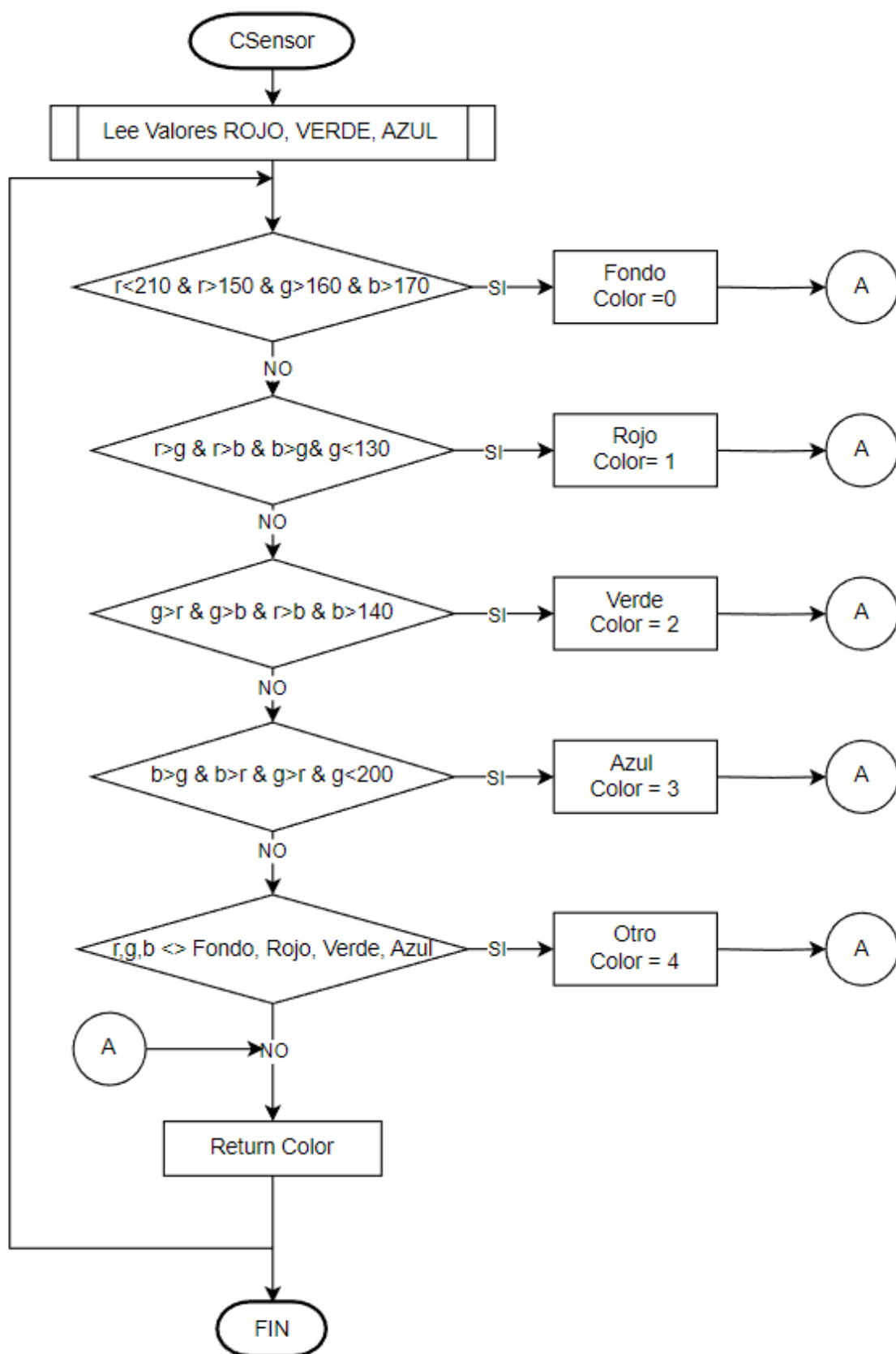


Figura 5. Diagrama de flujo Función que Recibe datos del sensor de color