

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DEL PLÁSTICO A
TRAVÉS DE SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA
DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTADA POR

Bach. RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR
Bach. SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS

ASESOR: Dr. Ing. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY

LIMA – PERÚ

2017

DEDICATORIA

La concepción de esta tesis está dedicada a mi familia y enamorada, pilares fundamentales en mi vida que siempre me han mostrado su apoyo incondicional y paciencia. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora.

Erick Jair Rodriguez Arambulo

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres, familia y amigos que siempre me demuestran su apoyo incondicional, su paciencia y sus palabras de ánimos que me motivan a seguir adelante en cada proyecto.

Edgar Alexis Saravia Suárez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Ricardo Palma, por forjar mi carrera profesional. A mis profesores y asesor de tesis, quienes me apoyaron y aconsejaron a lo largo de la tesis. Y a todas las personas que siempre estuvieron a mi lado apoyándome y logrando así cumplir mis objetivos.

Erick Jair Rodriguez Arambulo

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a las personas que siempre estuvieron apoyándome desde un inicio, a los profesores y asesores que nos guiaron en el presente trabajo, a la Universidad Ricardo Palma y sus laboratorios por apoyarnos con sus implementos, ya que, sin ellos, no se hubiera podido cumplir con la meta de la implementación de la presente tesis.

Edgar Alexis Saravia Suárez

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Problematización	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación	3
1.5. Alcances y limitaciones de la investigación	4
1.5.1 Alcances	4
1.5.2 Limitaciones.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes	6
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes Internacionales	7
2.2. Reciclaje	7
2.2.1. Definición	7
2.2.2. Reciclaje de plástico	8
2.3. Planta recicladora	9
2.3.1. Definición	9
2.3.2. Función	10
2.3.3. Zona de recepción de residuos	10
2.3.4. Líneas de selección	10

2.3.5. Zona de prensado y embalado.....	12
2.3.6. Zona de almacenamiento de materiales.....	12
2.4. Faja transportadora.....	12
2.4.1. Definición.....	12
2.4.2. Funcionamiento.....	13
2.4.3. Definición y selección de polines o tambores.....	14
2.4.4. La banda transportadora.....	16
2.5. Motor con caja reductora.....	19
2.5.1. Descripción.....	19
2.5.2. Especificaciones.....	20
2.5.3. Dimensiones:.....	21
2.6. Fuente de alimentación análoga variable.....	21
2.6.1. Definición.....	21
2.6.2. Especificaciones.....	22
2.7. Ángulo ranurado.....	23
2.7.1. Definición.....	23
2.7.2. Especificaciones.....	23
2.8. Cable banana – cocodrilo.....	24
2.8.1. Aplicaciones.....	24
2.8.2. Especificaciones.....	25
2.9. Sensores RGB.....	25
2.9.1. Descripción.....	25
2.9.2. Especificaciones.....	26
2.9.3. Diagrama de bloques funcional.....	27
2.9.4. Función de terminales.....	27
2.9.5. Definición de Pins.....	28
2.9.6. Información aplicativa.....	29
2.10. Sensor fotoeléctrico.....	30
2.10.1. Descripción.....	30
2.10.2. Funcionamiento.....	31
2.10.3. Especificaciones.....	33
2.11. PLC SIEMENS S7-1200.....	33
2.11.1. Definición.....	33
2.11.2. Características generales.....	34

2.11.3. Características específicas	34
2.11.4. Automatización por PLC.....	35
2.12. Actuador universal	37
2.12.1. Descripción	37
2.12.2. Especificaciones	38
2.13. Interfaz RGB-PLC	38
2.13.1. Definición	39
2.13.2. Amplificador de voltaje	39
2.13.2.1. Definición	39
2.13.2.2. Especificaciones	40
2.14. Adaptador de corriente alterna	40
2.14.1. Definición	40
2.14.2. Funcionamiento	41
2.14.3. Especificaciones	42

CAPÍTULO III: DIMENSIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE
 CLASIFICACIÓN DE PLÁSTICO POR COLORES43

3.1. Diseño del prototipo de la faja transportadora.	43
3.2. Diseño de la parte eléctrica.....	45
3.3. Diseño de la parte mecánica.....	46
3.3.1. Plancha de metal	46
3.3.2. Faja transportadora.....	46
3.3.3. Definición de parámetros	47
3.3.4. Tamaño.....	47
3.3.5. Cálculo para determinar el tipo de motor.....	47
3.3. Diseño del prototipo en AutoCAD.....	55
3.4. Implementación del prototipo	56
3.5. Instalación de los sensores RGB	58
3.6. Instalación de los actuadores.....	59
3.7. Acondicionamiento de los sensores fotoeléctricos	60
3.8. Armado del prototipo.....	60
3.9. Programación de secuencias	62

CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR RGB Y PROGRAMACIÓN EN EL PLC S7-1200.....	64
4.1. Interpretación de la señal RGB	64
4.1.1. Conexión de los sensores RGB	64
4.1.2. Comunicación RGB-Arduino	65
4.1.3. Programación de las salidas	66
4.1.4. Amplificador de señal.....	67
4.2. Determinación de entradas y salidas a usar.....	69
4.2.1. Entradas del PLC	69
4.2.2. Salidas del PLC	70
4.3. Diseño del programa Ladder.....	70
4.3.1. Segmento 1.....	71
4.3.2. Segmento 2.....	72
4.3.3. Segmento 3.....	74
CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS	75
5.1. Prueba piloto en el PLC S7-1200.....	75
5.1.1. Simulación virtual	75
5.1.2. Simulación con un generador de pulsos.....	77
5.2. Pruebas con el prototipo	83
5.2.1. Actuador Q0.0(Blanco).....	83
5.2.2. Actuador Q0.1(Azul).....	84
5.2.3. Actuador Q0.3(Transparente)	84
5.2.4. Actuador Q0.4(Verde)	85
5.3. Pruebas con la integración total del prototipo.....	86
5.4. Resultados obtenidos.....	91
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de reciclaje.....	10
Figura 2: Selección manual.....	11
Figura 3: Selección granulométrica.....	11
Figura 4: Prensado y embalado.....	12
Figura 5: Faja transportadora de objetos.....	13
Figura 6: Componentes de una faja transportadora.....	14
Figura 7: Polín de carga estándar.....	15
Figura 8: Polín de impacto.....	15
Figura 9: Polín de retorno.....	16
Figura 10: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST).....	18
Figura 11: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST) reforzado.....	18
Figura 12: Bandas con tejido solido (Solid Woven).....	18
Figura 13: Bandas con perfil rugoso.....	18
Figura 14: Bandas con perfil rugoso.....	19
Figura 15: Motor eléctrico con doble eje reductor.....	20
Figura 16: Curva de trabajo del motor reductor con doble eje.....	21
Figura 17: Medidas del motor reductor con doble eje.....	21
Figura 18: Fuente de alimentación análoga variable.....	22
Figura 19: Ángulo ranurado.....	23
Figura 20: Dimensiones y peso de los algunos ranurados.....	24
Figura 21: Cable banana – cocodrilo.....	24
Figura 22: Sensor RGB TCS230.....	25
Figura 23: Diagrama funcional.....	27
Figura 24: Definición de pines.....	28
Figura 25: Sensor fotoeléctrico.....	31
Figura 26: Funcionamiento del sensor fotoeléctrico.....	32
Figura 27: Sensor con salida PNP.....	32
Figura 28: Conexión de carga del sensor PNP.....	33
Figura 29: PLC S7-1200.....	34
Figura 30: Unidad de entrada con conexión o barra única (Bus).....	36

Figura 31: Motor de cierre centralizado.....	37
Figura 32: Motor energizado y sin energizar	38
Figura 33: Arduino MEGA2560	39
Figura 34: Optoacoplador	40
Figura 35: Adaptador de corriente alterna.....	41
Figura 36. Bloque de funciones de la automatización de la faja transportadora.....	43
Figura 37: Diagrama de flujo del Funcionamiento	44
Figura 38: Posición del motor con respecto al eje.....	55
Figura 39: Diseño de la estructura	55
Figura 40: Uniones de estructura virtual.....	56
Figura 41: Estructura armada	56
Figura 42: Uniones de estructura física.....	57
Figura 43: Mecánica del prototipo	57
Figura 44: Acondicionamiento del sensor RGB.....	58
Figura 45: Aislamiento de fotodiodos y leds del sensor.....	59
Figura 46: Integración de los actuareos	59
Figura 47: Acondicionamiento del sensor fotoeléctrico	60
Figura 48: Estructura finalizada.....	61
Figura 49: Diagrama de Flujo de la Lógica para la Programación del PLC S7-1200	63
Figura 50: Interpretación de señal frecuencia-pulso.....	64
Figura 51: Conexión en la interfaz	64
Figura 52: Rango establecido para los colores “Blanco” y “Azul”.	65
Figura 53: Rangos establecidos para los colores “Transparente”, “Verde” y “No se detecta objeto”.	66
Figura 54: Diseño en Proteus del circuito amplificador.....	67
Figura 55: Diseño de la placa del amplificador.....	68
Figura 56: Circuito amplificador.....	68
Figura 57: Conexión Interfaz-Amplificador	68
Figura 58: Variables del PLC	71
Figura 59: Programación Segmento 1	72
Figura 60: Programación Segmento 2	73
Figura 61: Programación Segmento 3	74

Figura 62: Activación Output Q0.0 (Blanco)	75
Figura 63: Activación Output Q0.1 (Azul).	76
Figura 64: Activación Output Q0.2 (Transparente)	76
Figura 65: Activación Output Q0.3 (Verde)	77
Figura 66: Activación Output Q0.4 (No se detecta)	77
Figura 67: Generador de pulsos.....	78
Figura 68: Activación Q0.0.....	78
Figura 69: Respuesta del PLC para Q0.0	79
Figura 70: Activación Q0.1	79
Figura 71: Respuesta del PLC para Q0.1	80
Figura 72: Activación Q0.2.....	80
Figura 73: Respuesta del PLC para Q0.2	81
Figura 74: Activación Q0.3.....	81
Figura 75: Respuesta del PLC para Q0.3	82
Figura 76: Activación Q0.4.....	82
Figura 77: Respuesta del PLC para Q0.4	82
Figura 78: Accionamiento del actuador “Blanco”	83
Figura 79: Accionamiento del actuador “Azul”	84
Figura 80: Accionamiento del actuador “Transparente”	85
Figura 81: Accionamiento del actuador “Verde”	86
Figura 82: Toma de tiempos	87
Figura 83: Detección del sensor óptico y retardo utilizado en el programa TIA PORTAL	88
Figura 84: Final de carrera.....	88
Figura 85: Detección del sensor y accionamiento del actuador.....	89
Figura 86: Detección del sensor y accionamiento del actuador con el color blanco	89
Figura 87: Detección del sensor y accionamiento del actuador con el color azul	90
Figura 88: Detección del sensor y accionamiento del actuador con el color transparente	90
Figura 89: Detección del sensor y accionamiento del actuador con el color verde	91
Figura 90: Diseño final del prototipo – conexiones con PLC	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores caloríficos de combustibles tradicionales y plásticos.	9
Tabla 2: Especificaciones del motor reductor con doble eje.....	20
Tabla 3: Tipo de fotodiodo	28
Tabla 4: Escala de frecuencia de salida.....	28
Tabla 5: Descripción de terminales	29
Tabla 6: Instrucciones del lenguaje de lista de instrucciones de la norma IEC 1131-3.....	37
Tabla 7: Coeficientes de rozamientos para correas	50
Tabla 8: Factor C4	50
Tabla 9: Configuración de los pulsos.	66
Tabla 10: Interpretación de los pulsos por color	69
Tabla 11: Interpretación de los inputs fotoeléctricos.....	70
Tabla 12: Condiciones para activación de outputs.	70
Tabla 13: Activación Q0.0	72
Tabla 14: Activación Q0.1	72
Tabla 15: Activación Q0.2	73
Tabla 16: Activación Q0.3	73
Tabla 17: Activación Q0.4	74
Tabla 18: Porcentajes de resultados.....	91

ANEXOS

Anexo 1: Planos mecánicos.....	99
Anexo 2: Plano de planta del prototipo.....	100
Anexo 3: Plano de perfil del prototipo.	101
Anexo 4: Plano de perfil del prototipo.	102
Anexo 5: Unión de ángulos ranurados.	103
Anexo 6: Unión de cadena y engranajes.....	104
Anexo 7: Actuador y sensor fotoeléctrico.	105
Anexo 8: Planos electrónicos.....	106
Anexo 9: Conexiones a la interfaz Arduino.	107
Anexo 10: Conexiones del sensor RGB TCS230.	108
Anexo 11: Interfaz Arduino-PLC.....	109
Anexo 12: Planos eléctricos.....	110
Anexo 13: Distribución 220V AC.....	111
Anexo 14: Distribución V DC.....	112
Anexo 15: Programación de sensores RGB.....	113
Anexo 16: Programación del PLC.....	118
Anexo 17: Consumo eléctrico.....	120
Anexo 18:Costos del prototipo.....	122

RESUMEN

La presente tesis es una investigación que tuvo por objetivo diseñar un proceso de automatización para dar solución a una de las etapas de reciclaje de plástico en la planta recicladora del distrito de Santiago de Surco, que es la selección de botellas de plástico de acuerdo al color; actualmente este proceso se hace de forma manual; para ello, se implementó un prototipo automatizado que se encargó de la clasificación de las botellas mediante sensores de color RGB.

Utilizando el prototipo mencionado se buscó disminuir el tiempo de reciclaje de botella por color, así como evitar el contagio de enfermedades al estar en constante contacto con las botellas aún con residuos orgánicos; este proceso de selección se realizó implementando actuadores eléctricos, los cuales impulsan las botellas a su respectivo contenedor.

El prototipo tuvo como función principal seleccionar y clasificar los cuatro colores de botellas más comunes, los cuales son blanco, azul, transparente y verde. Esta clasificación se dio por medio de una faja transportadora, la cual llevará las botellas desde los sensores RGB hasta los actuadores, los cuales segregarán por color detectado.

Todo este proceso de reciclaje fue controlado por un PLC programado en lenguaje Ladder, el cual interpretó las señales que envían los sensores, usando como interfaz un Arduino, para luego mandar una señal que finalizó en el accionamiento de los actuadores que impulsaron la botella de un color específico a su contenedor.

La implementación de este prototipo dio autonomía en el proceso de reciclaje, logrando optimizar los tiempos, aumentando la velocidad y la eficiencia en la selección de botellas de plástico por color.

Palabras claves: Automatización, Reciclaje, Sensor, PLC, Botella, Color.

ABSTRACT

The present thesis is an investigation that had as objective to design an automation process to give solution to one of the stages of recycling of plastic in the recycling plant of the district of Santiago de Surco, that is the selection of plastic bottles according to the color, currently this process is done manually; for this, an automated prototype was implemented that was in charge of the classification of the bottles by RGB color sensors.

Using the mentioned prototype, it was tried to reduce the time of recycling of bottle by color, as well as to avoid the contagion of diseases when being in constant contact with the bottles still with organic residues; this selection process was carried out by implementing electric actuators, which drive the bottles to their respective container.

The prototype had as main function to select and to classify the four colors of more common bottles, which are white, blue, transparent and green. This classification was given by means of a conveyor belt, which will take the bottles from the RGB sensors to the actuators, which will segregate by detected color.

All this recycling process was controlled by a PLC programmed in Ladder language, which interpreted the signals sent by the sensors, using an Arduino interface, and then send a signal that ended in the actuation of the actuators that propelled the bottle of a color specific to the container.

The implementation of this prototype gave autonomy in the recycling process, achieving optimized times, increasing speed and efficiency in the selection of plastic bottles by color.

Keywords: Automation, Recycling, Sensor, PLC, Bottle, Color.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación lleva por título “Automatización en la clasificación de plástico a través de sensores RGB para la planta recicladora de la municipalidad de Santiago de Surco”, para optar el título de Ingeniero Mecatrónico, presentado por los bachilleres Erick Jair Rodriguez Arambulo y Edgar Alexis Saravia Suárez.

Actualmente, la municipalidad de Santiago de Surco posee un protocolo de recojo de materias recicladas como el plástico, cartón, entre otros.

Así mismo, la municipalidad posee una planta recicladora el cual separa manualmente las materias recicladas por grupos, en el caso del plástico este tiene otra separación mediante colores antes de ser enviado a la máquina compactadora para luego enviarlos a plantas procesadoras especializadas para su tratamiento y pronta reutilización mediante otros objetos. Por ello, en nuestro caso automatizaremos la separación de plástico por colores en la misma planta recicladora, logrando así un ahorro tanto de tiempo como económico para el municipio.

La estructura de la tesis considera 5 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, los objetivos, la importancia y la metodología. El segundo capítulo comprende el marco teórico, los antecedentes y las variables que sustenta la investigación que se pretende desarrollar. El tercer capítulo consiste en el diseño mecánico del prototipo, así como su armado y funcionamiento del mismo. El cuarto capítulo consiste en el sistema de acondicionamiento de los sensores RGB, así como el programa del PLC S7-1200 y los sensores fotoeléctricos con sus respectivas pruebas y en el capítulo cinco se realizan las pruebas en tiempo real, así como las conclusiones y resultados.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el primer capítulo se realiza la descripción del objetivo principal, objetivos específicos, justificación y las limitaciones y alcances que estuvieron presentes en el transcurso del desarrollo de la tesis.

1.1. Planteamiento del problema

En la municipalidad de Santiago de Surco está implementado un protocolo de reciclaje de materias primas como ayuda para el medio ambiente, esta materia reciclada que se obtiene es: botellas de plástico, papel, vidrios, cartones y tetra packs. La problemática surge cuando estas materias, al ser recicladas, contienen residuos que emiten olores desagradables y son puntos de foco infeccioso por la atracción de insectos o roedores, lo cual puede poner en riesgo la salud de los trabajadores y de los vecinos alrededor de dicha planta.

Actualmente la planta recicladora cuenta con un proceso de clasificación de plástico mediante colores, lo cual se realiza de forma manual y este genera una significativa pérdida de tiempo como pago a mano de obra extra. El problema principal que se observa es que este proceso, al hacerse de forma manual, se pierde tiempo solo en la selección de botellas según el color y en el enviado a la máquina compactadora; es en este proceso al cual está enfocado el prototipo.

1.2. Problematización

1.2.1. Problema General

¿Cómo se realizará la clasificación del plástico en la planta recicladora de la municipalidad de Santiago de Surco utilizando el PLC S7-1200 y los sensores RGB?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo será el prototipo de automatización en la clasificación del plástico en la planta recicladora de la municipalidad de Santiago de Surco?
- b) ¿Cómo se clasificará los plásticos a partir de la interpretación

de la señal emitida por los sensores RGB utilizados?

- c) ¿Cómo programar el PLC S7-1200 en lenguaje Ladder, para automatizar el prototipo de clasificación de plástico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Automatizar la clasificación del plástico en la planta recicladora de la municipalidad de Santiago de Surco, a través del PLC S7-1200 y sensores RGB.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Dimensionar el prototipo de automatización en la clasificación del plástico en la planta recicladora de la municipalidad de Santiago de Surco.
- b) Interpretar la señal del sensor RGB para discernir la clasificación de hasta 4 colores de plásticos diferentes.
- c) Automatizar el prototipo de clasificación de plástico programando en lenguaje Ladder en el PLC S7-1200.

1.4. Justificación

La presente investigación se justifica por las siguientes razones:

- a) Justificación técnica: La importancia técnica se refleja en la automatización por PLC en el proceso de selección del plástico por colores, para facilitar el proceso de prensado.
- b) Justificación social: La importancia social se refleja en el reciclaje de botellas de plástico, el cual genera un grave problema ambiental debido a que estas demoran décadas en degradarse, además de destruir hábitats naturales afectando seriamente el ecosistema de varias especies, el tema del proyecto de tesis ayuda a mejorar la sociedad concientizando el tema de reciclaje, además de ayudar al medio ambiente. El plástico, al ser seleccionado de forma automatizada, evita que el personal entre en contacto con agentes tóxicos que pueden ser perjudiciales para la salud. Al abarcar el tema de reciclaje se promueve en todo

el distrito de Santiago de Surco la concientización, así evitando la sobre contaminación de nuestras calles, subiendo la esperanza de vida promedio del ciudadano peruano.

- c) Justificación económica: La importancia económica se refleja en el ahorro de tiempo y mano de obra al automatizar el proceso de selección del plástico, el cual, en la actualidad genera malestar entre los vecinos que viven alrededor de la planta, ya que al demorarse en el proceso este material comienza a emitir olores desagradables.

1.5. Alcances y limitaciones de la investigación

1.5.1 Alcances

El prototipo fue diseñado para la clasificación de botellas de plástico por colores, el lugar óptimo para su implementación es la planta recicladora de la municipalidad de Santiago de Surco, debido a que esta planta recicla diariamente unas 50 toneladas de plástico.

Tomando en cuenta que el procedimiento de reciclaje es realizado de forma manual en la actualidad, el prototipo tiene una función esencial dentro de la planta recicladora con respecto a la segregación, debido a que clasificará con mayor rapidez y eficiencia las botellas de plástico de acuerdo al color, para luego ser compactado y enviado a plantas especializadas para su reutilización.

El prototipo fue diseñado con el fin de poder ayudar con el cuidado del medio ambiente, utilizando la tecnología para reciclar de forma óptima uno de los productos más desechados como lo son las botellas de plástico.

1.5.2 Limitaciones

1) Durante el diseño de la faja transportadora

Durante el diseño del prototipo de la faja, se encontró cierta limitación con respecto al tipo de material a utilizar.

Debido a que la estructura es de acero, se necesitó utilizar taladro para hacer los orificios para unir las piezas, lo cual se logró superar de forma satisfactoria.

2) Durante el diseño del circuito de acondicionamiento

Durante el diseño del circuito de acondicionamiento, se encontró cierta limitación con respecto al integrado a utilizar, debido a que se podía usar relay u optoacoplador. Para el circuito de acondicionamiento se optó por los optoacopladores PC817 debido a que solo requirieron un voltaje fijo, este funciona de manera óptima. Otro factor que se tomó en cuenta fue el espacio, en ambos aspectos el optoacoplador fue el ideal para nuestro circuito. Al armar el circuito se observó que funciona de manera óptima, por lo tanto, se logró superar de forma satisfactoria.

3) Durante la programación en el PLC

Durante la programación en el PLC se encontró cierta limitación con respecto al programa TIA PORTAL, debido a que el programa pertenece a SIEMENS, este requiere de un pago por el derecho a usar el programa, lo cual se obtuvo de forma gratuita por un periodo de prueba de un mes, tiempo necesario para realizar la programación y hacer las pruebas en el PLC S7-1200, lo cual se cumplió de forma satisfactoria.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se presentan los antecedentes que dieron soporte a la investigación, las bases teóricas de los implementos que se utilizaron en el prototipo definiendo y dando una breve explicación de su funcionamiento.

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Villar, C. (2013). En su tesis mostró el estudio y diseño de una planta de procesamiento de plástico reciclado en Chíncha y su implementación a través de la oferta y demanda que existe en la ciudad de Chíncha. Se consideró importante incluir en el documento la importancia de las plantas de procesamiento de plástico, debido a que estas contribuyen al medio ambiente y están enfocados al proceso posterior al presente proyecto, generando así un medio ambiente más sano y ayudar al planeta.

Como conclusión, muestra que la automatización de la clasificación del plástico por colores es necesaria debido a que existe y existirán plantas que requieran un color específico de botella reciclada para ser tratada y reutilizada, así como el promedio a botellas a reciclar.

Contreras, A. (2010). En su tesis mostró el estudio y diseño de una red de iluminación automatizada por PLC, el cual permite un control total por parte de un terminal remoto o computador personal, lo que permite obtener un control total y verificar si existe algún error y corregirlo antes que el PLC suspenda la red.

Como conclusión, muestra que la automatización mediante PLC es la más óptima en fábricas o empresas, debido a su robustez y múltiples funciones que permite la automatización de forma óptima para el control de un proceso, el cual ya no es necesario tener personal en esa área y exponerla a posibles infecciones.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Held, G. & Vilches, F. (2008). En su tesis mostró el estudio de plástico nuevo y reciclado, este último al ser reciclado no pierde sus características y resulta en términos económicos, rentable el reciclaje de esta, debido a que el plástico posee varios tipos, este se debe de separar por estructura molecular y color, ya que al combinarlos resulta un producto de menor calidad.

Como conclusión, muestra que la automatización por colores en el reciclaje ayudaría en gran parte a mantener un producto reciclado de buena calidad y color homogéneo, logrando competir de manera igual al plástico nuevo.

Calderón, J. (2009). En su tesis mostró la interfaz hombre – máquina es posible y de fácil manejo para el operario, también nos muestra que el PLC con sus múltiples funciones y componentes nos da una gran gama de funciones posibles. Así mismo usando el software STEP7 permite programar diagramas en Ladder de forma sencilla.

Como conclusión, la automatización por PLC es de gran ayuda para las empresas, ya que permite ahorrar significativamente tiempo en el proceso, pasar de tener cinco operarios, para luego tener solo uno que controle varios PLC.

2.2. Reciclaje

2.2.1. Definición

Eva Röben (2003) define el reciclaje como:

La actividad de recuperar los desechos sólidos al fin de reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos, con lo que podemos lograr varios beneficios económicos, ecológicos y sociales:

- En muchos países, la relación entre los precios de los materiales reciclables y la mano de obra es tal que el reciclaje es económicamente rentable.

- Con el reciclaje, se pueden recuperar materiales y, por consecuencia, economizar materia prima, energía y agua necesarias para la producción de nuevos materiales y bajar la contaminación ambiental.
- El sector de reciclaje coadyuva a crear fuentes de trabajo para aquella mano de obra no calificada.
- El reciclaje permite a la industria conseguirse materia prima secundaria a bajo precio y aumentar su competitividad
- Con el reciclaje se disminuye la cantidad de los desechos que se disponen en los botaderos o rellenos sanitarios. Por consecuencia, se bajan el consumo de paisaje, los costos y los impactos ambientales que genera la disposición final. (pp. 4).

2.2.2. Reciclaje de plástico

En la actualidad se pueden encontrar 3 métodos distintos para el reciclaje de plástico:

- Reciclaje mecánico

Según Eva Röben (2003), el reciclaje mecánico se realiza por medio de la presión y del calor con el fin de producir otros objetos con base de un material termoplástico definido. Ya que es muy importante que sea homogénea la composición del plástico, la clasificación minuciosa tiene un papel preponderante para el reciclaje mecánico. Los plásticos ideales son objetos de gran tamaño, como las botellas de bebida, recipientes de alimentos u otros productos de uso doméstico, film y folio de plástico etc.

- Reciclaje químico

Rosa Trigo Fernández (2009) indica que el objetivo del reciclaje químico es la descomposición de los plásticos usados anteriormente clasificados en sus componentes más sencillos (los monómeros). Estos se pueden utilizar otra vez como

materia prima en la industria productora. Existen diferentes procesos para realizar el reciclaje químico: la pirólisis, la hidrogenación, la gasificación o el tratamiento con disolventes. Con el reciclaje químico, es posible tratar también polímeros termoestables y plásticos de composición compleja. Es verdad que los procesos de reciclaje químico son sumamente complejos, nuevos y necesitan costos de inversión mucho más altos que el reciclaje mecánico.

- Recuperación de energía

La tercera alternativa es la recuperación de energía. Ya que los plásticos se producen a base de petróleo, tienen un valor calorífico elevado, a veces incluso más elevado que el del carbón o del fuelóleo. La tabla 1 compara los valores caloríficos de los plásticos más comunes con los de los combustibles frecuentemente usados.

Tabla 1: Valores caloríficos de combustibles tradicionales y plásticos.

Plásticos		Combustibles	
Tipo de plástico	Valor calorífico (MJ/kg)	Tipo de combustible	Valor calorífico (MJ/kg)
PELD, PEHD	31.72	Madera	12.08 – 20.55
PS, EPS	29.35	Carbón (hulla)	> 23.86
PET	23.55	Carbón (lignito)	< 17.46
PVC	13.32	Fuelóleo	44.06 – 44.46
PP	32.60	LPG	49.51

Fuente: Reports on lifecycle assessments of PE, PET, PP and PVC

2.3. Planta recicladora

2.3.1. Definición

RECYTRANS - define la planta recicladora como:

Una instalación que combina procesos de selección automáticos y manuales con el objetivo de separar las fracciones recuperables de la mezcla de residuo y prepararlas para la comercialización.

En la figura 1 se aprecia una visión general de los residuos reciclables que se obtiene de los domicilios.

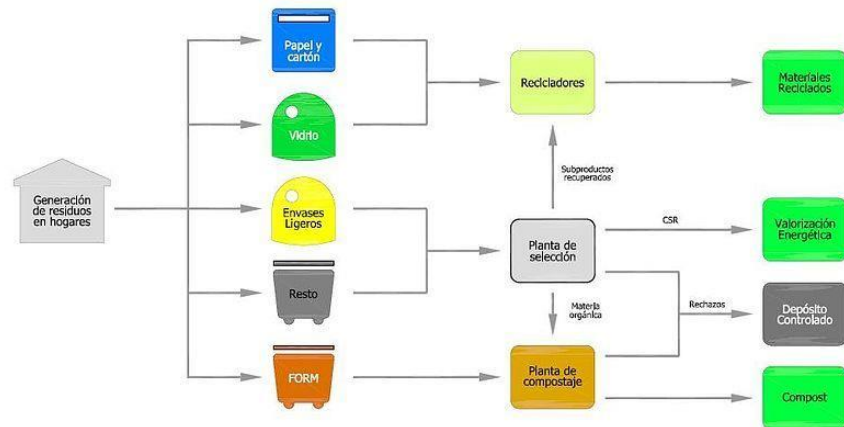


Figura 1: Esquema de reciclaje

Fuente: <https://www.recytrans.com/blog/funcionamiento-de-una-planta-de-clasificación-de-residuos/>

2.3.2. Función

La función de las plantas de reciclaje es seleccionar el material que ingresa y separarlo por contenedores, aislando los reciclables y los no reciclables.

Del grupo de materias recicladas, estas se subdividen en: cartón, plástico, vidrio, Tetrapack y papel.

Cada planta de reciclaje se divide en áreas de trabajo como:

- Zona de recepción de residuos
- Líneas de selección, mediante procesos mecánicos y manuales
- Zona de prensado y embalaje
- Zona de almacenamiento de materiales

2.3.3. Zona de recepción de residuos

Esta área se encarga de recibir a los camiones de reciclaje o trabajadores independientes dedicados al reciclaje, de este punto se abastece la planta recicladora, la cual adentro se realizará la clasificación efectiva.

2.3.4. Líneas de selección

Esta área es donde se realiza la separación de materiales reciclables y no reciclables, después de ese proceso se realiza la clasificación de materiales recicladas.

Existen varias opciones de selección de reciclados:

- 1) Selección manual: Las materias reciclables pasan a través de una cinta de manera continua, la cual los operarios van clasificando de acuerdo con el tipo de material en contenedores especiales, en la figura 2 se observa los puestos de los operarios, así como la faja.



Figura 2: Selección manual

Fuente: <https://www.recytrans.com/blog/funcionamiento-de-una-planta-de-clasificación-de-residuos/>

- 2) Selección granulométrica: Esta selección consiste en separar los productos reciclados por tamaños, esto se consigue gracias a un trommel, el cual es un cilindro de malla que gira y este movimiento hace que las materias recicladas de tamaño pequeño vayan cayendo, en la figura 3 se observa cómo trabaja el trommel.



Figura 3: Selección granulométrica

Fuente: <https://www.recytrans.com/blog/funcionamiento-de-una-planta-de-clasificación-de-residuos/>

2.3.5. Zona de prensado y embalado

En esta zona es donde se lleva la materia reciclada ya clasificada a una prensa hidráulica, la cual compacta el material hasta hacerlo un bloque.

Estando compactado optimiza su embalado, así como su transporte, como se observa en la figura 4, el material reciclable se encuentra prensado y embalado listo para su traslado a la planta de reciclaje para su tratamiento y reutilización.



Figura 4: Prensado y embalado

Fuente: <https://www.recytrans.com/blog/funcionamiento-de-una-planta-de-clasificación-de-residuos/>

2.3.6. Zona de almacenamiento de materiales

Esta zona se utiliza para almacenar los materiales ya clasificados, prensados y embalados hasta llenar un camión de transporte hacia la planta de reciclaje.

2.4. Faja transportadora

2.4.1. Definición

Las fajas transportadoras desempeñan un rol muy importante en los distintos procesos industriales y esto se debe a las múltiples funciones que se desempeñan para el transporte, las opciones de transportar diversos materiales (orgánico, inorgánicos, plásticos, minerales, combustibles, etc.), la facilidad de adaptación al entorno y la rapidez de desplazamiento de un lado a otro.

Las fajas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es transportar, elevar o distribuir

materiales hacia otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que las manipule directamente de forma continuada. (M. Salinero, 2013).

En la figura 5 se aprecia uno de varios tipos de faja transportadora de uso industrial o de fabricación casera. Según el material a transportar.



Figura 5: Faja transportadora de objetos

Fuente: <http://tecnijsa.blogspot.pe/>

2.4.2. Funcionamiento

(M. Salinero, 2013) Menciona que las cintas transportadoras sirven para el transporte horizontal o inclinado de objetos solidos o material granel cuyas dos ventajas principales son:

- Gran velocidad.
- Grandes distancias.

Su función más importante, a nivel de transporte, es hacerlo de forma continua tanto de materiales homogéneos como mezclados, a distancias que pueden oscilar entre algunos metros y decenas de kilómetros.

Uno de los componentes principales de los transportadores es la banda de goma que ejerce una doble función:

- Contener el material transportado.
- Transmitir la fuerza necesaria para transportar la carga.

Los ramales, superior y de retorno de la banda, descansan sobre

una serie de rodillos soportados por estructuras metálicas. En los dos extremos del transportador, la banda se enrolla en tambores, uno de los cuales, acoplado a un órgano motor, transmite el movimiento.

La figura 6 muestra un esquema general de una cinta transportadora en donde se aprecia los distintos elementos que la componen.

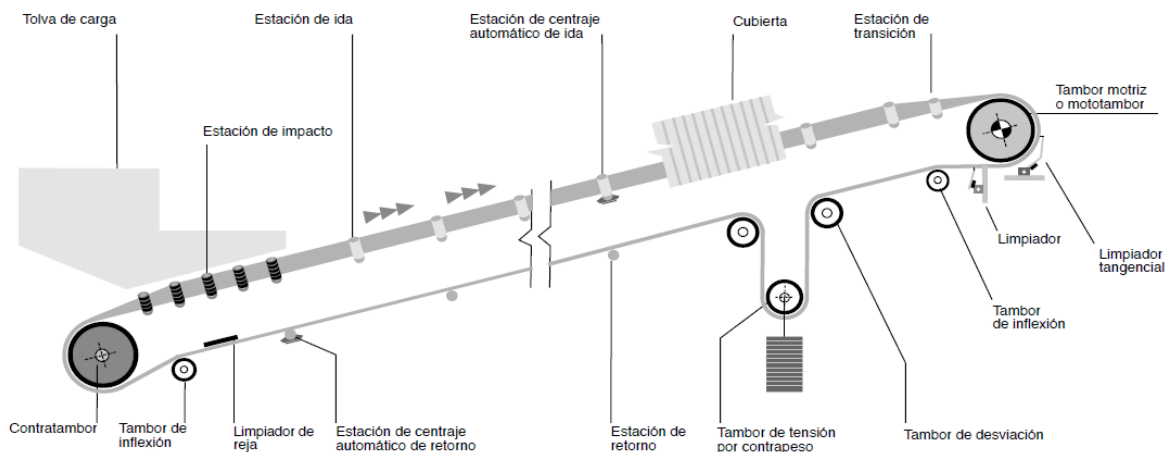


Figura 6: Componentes de una faja transportadora

Fuente: RULMECA, Rodillos y componentes para el transporte por banda de material a granel

2.4.3. Definición y selección de polines o tambores

a) **Polines de carga:** el polín de carga de mayor utilización es el de tres rodillos de un mismo largo, con una inclinación de rodillos usualmente de 20° , 35° , o 45° . Al mismo tiempo, los polines de 20° son los más utilizados en la mayoría de los casos, con los polines de 35° y 45° , usualmente son utilizados sólo con granos y materiales livianos. Sin embargo, más recientemente los polines de ángulos mayores, especialmente los de 35° , están siendo utilizados con mayor frecuencia en diferentes aplicaciones dentro de las industrias. Las dos principales razones para el uso de los polines de ángulos mayores (35° y 45°) son para obtener una mayor capacidad de transporte y mayor control sobre el derrame de material, especialmente en inclinaciones. Generalmente en la construcción de cintas

transportadoras se selecciona el polín de menor ángulo debido a que se proporciona mayor manejo sobre el material con un mínimo control de derrame de éste.

La figura 7 muestra un polín de carga estándar, que permite la selección de éste conociendo sus dimensiones, sin duda alguna la selección del polín deseado se podrá realizar con cualquier catálogo de polines que entregue los datos técnicos necesarios para ello.

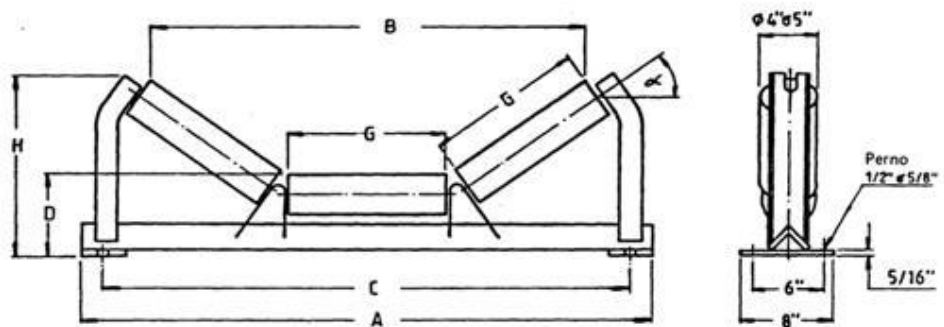


Figura 7: Polín de carga estándar

Fuente: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Maquinas%20y%20equipos/cintas.htm>

b) Polines de impacto: los polines de impacto se encuentran en variados modelos, y su diseño está adaptado para el impacto que se produce en la recepción del material, su ángulo de inclinación será el mismo del polín de carga, permitiendo una uniformidad en el transporte como se muestra en la figura 8.

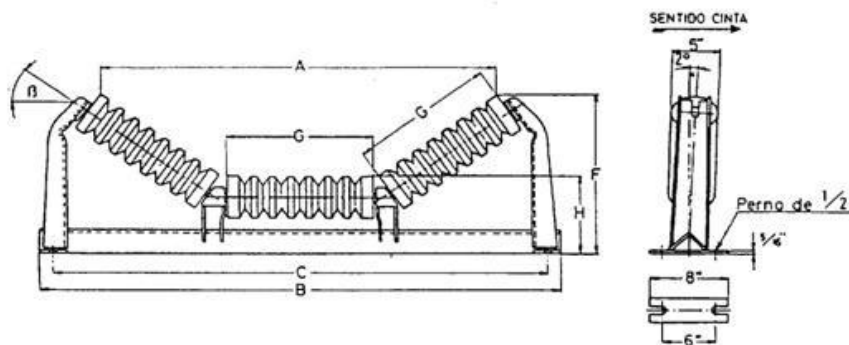


Figura 8: Polín de impacto

Fuente: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Maquinas%20y%20equipos/cintas.htm>

- c) **Polines de retorno:** los polines de retorno como su nombre lo indica, permiten el retorno de la banda mediante el apoyo de ésta como se aprecia en la figura 9.

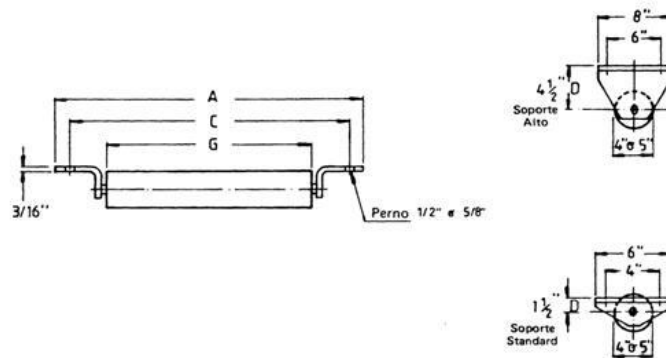


Figura 9: Polín de retorno

Fuente: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Maquinas%20y%20equipos/cintas.htm>

2.4.4. La banda transportadora

La banda es uno de los elementos más importantes de toda la instalación y se le puede considerar como el elemento principal, pues tiene que ser capaz de cumplir las siguientes funciones:

- Absorber las tensiones desarrolladas en el arranque.
- Transportar la carga.
- Absorber la energía de impacto en el punto de carga.
- Resistir a los efectos de temperatura y agentes químicos (calor, aceite y la grasa que contiene los materiales, acidez, etc.).
- Cumplir con los requisitos de seguridad como la resistente al fuego.

Las bandas se pueden clasificar atendiendo a diferentes aspectos:

a) Según el tipo de tejido:

- De algodón.
- De tejidos sintéticos (Figura 10).

- De cables de acero (Figura 10).

b) Según la disposición del tejido:

- De varias telas o capas (Figura 10).
- De tejido sólido (Figura 12).

c) Según el aspecto de la superficie portante de la carga:

- Lisas (Figura 10).
- Rugosas (Figura 13).
- Con nervios, tacos o bordes laterales vulcanizados (Figura 14).

Las bandas lisas son para instalaciones horizontales y con un pequeño ángulo de inclinación. Las calidades de sus recubrimientos y su carcasa exterior, pueden combinarse adecuadamente según las exigencias de funcionamiento. La fabricación estándar abarca anchos desde 400 a 1600 mm. Para utilidades específicas se pueden fabricar hasta un ancho de 2200 mm con bandas reforzadas (Figura 11).

Las bandas rugosas sirven para incrementar el coeficiente de adherencia de los materiales transportados, pudiendo funcionar tanto en plano horizontal como inclinado. Este tipo de superficie se suele utilizar en el transporte típico de aeropuertos, sacos de correo, fardos, etc. (Figura 13). Su recubrimiento puede realizarse, según las necesidades, con cualquiera de las calidades descritas en la Figura 14, confeccionándose con 1200mm de ancho máximo.

Las bandas nervadas son usadas para instalaciones con elevado ángulo de inclinación, las cuales evitan el retroceso o caída del producto transportado, incrementándose la capacidad de carga de la banda. En función de las características del material transportado y el ángulo de inclinación del transportador, se determina el tipo y altura del perfil más adecuado, consiguiéndose perfiles de hasta 70° de inclinación. Se fabrican en anchos de 400, 500, 600, 650, 800, 1000 y 1200 mm.

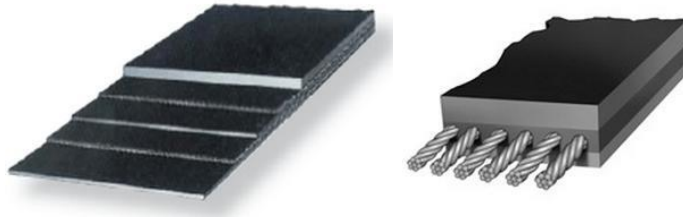


Figura 10: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST).
Fuente: http://pdf.directindustry.es/pdf/esbelt/bandas-transportadoras/11685-76056-_20.html

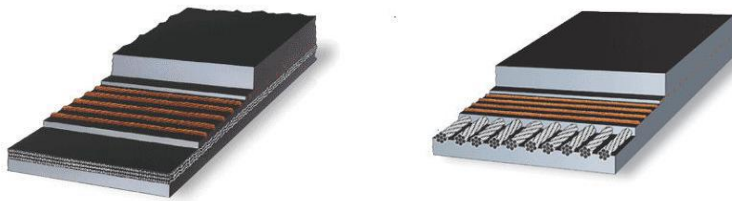


Figura 11: Bandas con tejido sintético (EP) y bandas con cable de acero (ST) reforzado.
Fuente: http://pdf.directindustry.es/pdf/esbelt/bandas-transportadoras/11685-76056-_20.html

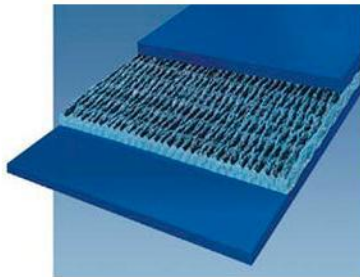


Figura 12: Bandas con tejido solido (Solid Woven).
Fuente: http://pdf.directindustry.es/pdf/esbelt/bandas-transportadoras/11685-76056-_20.html

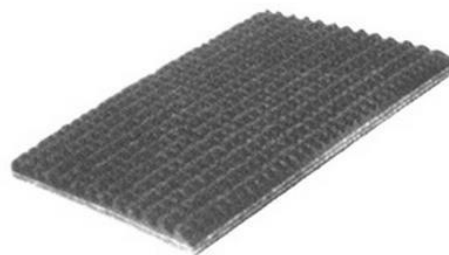


Figura 13: Bandas con perfil rugoso.
Fuente: <http://www.bandasindustriales.com/goma.html>

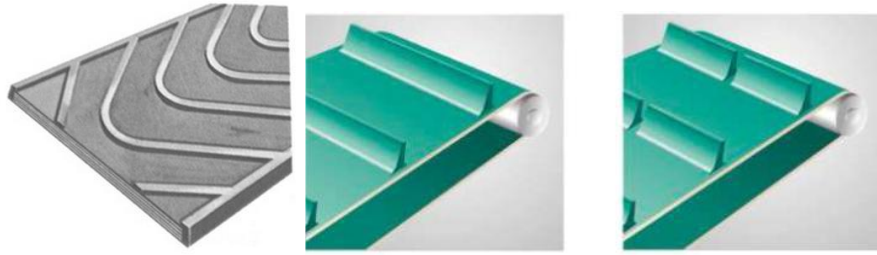


Figura 14: Bandas con perfil rugoso.

Fuente: <http://www.bandasindustriales.com/goma.html>

2.5. Motor con caja reductora

2.5.1. Descripción

El motor eléctrico es un artefacto que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, de manera que puede impulsar el funcionamiento de una máquina. Esto ocurre por acción de los campos magnéticos que se generan gracias a las bobinas, (aquellos pequeños cilindro con hilo metálico conductor aislado).

Los motores eléctricos son muy comunes, se pueden encontrar en trenes, máquinas de procesos industriales y en los relojes eléctricos; algunos de uso general tienen proporciones estandarizadas, lo que ayuda a mejorar la selección de acuerdo a la potencia que se desea alcanzar para el dispositivo en el que se incluirá.

El motor eléctrico tiene muchas ventajas, entre ellas se encuentra su tamaño y peso reducido, el hecho de que puede ser construido para casi cualquier tipo de máquina y una potencia bastante alta, su rendimiento está la mayor parte del tiempo en un 75%, no emite ningún tipo de sustancia o gas contaminante y no necesitan una ventilación externa, en la figura 15 se muestra e motor eléctrico de 12v DC con doble eje reductor.



Figura 15: Motor eléctrico con doble eje reductor

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tt545-124500-12v-dc-electric-motor-with-gear-reduction-with-dual-shaft-for-encoder-can-be-used-for-coin-refund-devices-etc--60199303086.html>

2.5.2. Especificaciones

A continuación, se muestran algunos modelos de motores y sus especificaciones, lo cual en la tabla 2 se aprecia el tipo de motor, corriente consumida, velocidad, par y potencia de salida respectiva.

Tabla 2: Especificaciones del motor reductor con doble eje.

Model	Rated Volt. V	No Load		Load Torque				At Maximum Efficiency		Output Power W	Number Of Gear Trains
		Current mA	Speed r/min	Current mA	Speed r/min	Torque		Kgf-cm	N.m		
						Kgf-cm	N.m				
TT-545124500-36K	12	≤220	120	≤0.9	90	3.5	0.34	12	1.2	3.2	3
TT-545124500-66K	12	≤220	67	≤0.9	54	6.4	0.63	19	1.9	3.2	3
TT-545124500-94K	12	≤220	46	≤0.9	36	9.0	0.88	27	2.7	3.2	3
TT-545124500-150K	12	≤220	30	≤0.9	22	13.0	1.27	39	3.8	2.9	4
TT-545124500-196K	12	≤220	23	≤0.9	17	16.8	1.65	50	4.9	2.9	4
TT-545124500-277K	12	≤220	16	≤0.9	12	23.8	2.33	71	6.96	2.9	4
TT-545124500-394K	12	≤220	11	≤0.9	8.5	34.3	3.36	103	10.1	2.9	4
TT-545124500-624K	12	≤220	7.2	≤0.9	5.3	47.9	4.69	144	14.1	2.5	5
TT-545124500-1166K	12	≤220	3.8	≤0.9	3.4	60.0	5.88	180	17.64	2.0	5
Packing Details	CTN Size: 55X35XH18CM 24pcs/CTN N.W. 11Kgs										

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tt545-124500-12v-dc-electric-motor-with-gear-reduction-with-dual-shaft-for-encoder-can-be-used-for-coin-refund-devices-etc--60199303086.html>

De mismo modo obtenemos la curva de trabajo del motor, como se observa en la figura 16.

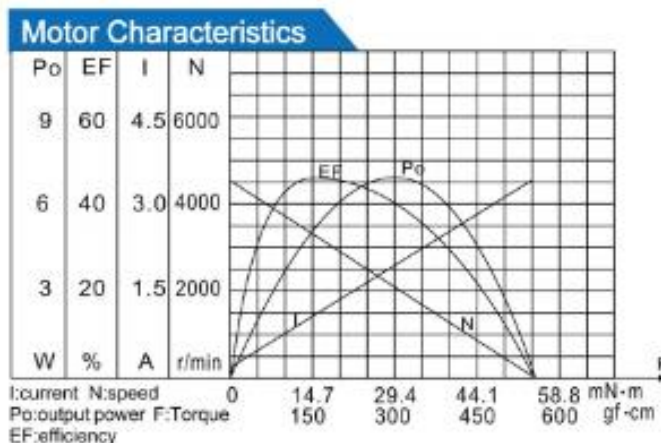


Figura 16: Curva de trabajo del motor reductor con doble eje.

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tt545-124500-12v-dc-electric-motor-with-gear-reduction-with-dual-shaft-for-encoder-can-be-used-for-coin-refund-devices-etc--60199303086.html>

2.5.3. Dimensiones:

En la figura 17 se muestra las medidas del motor con caja reductora de doble eje en la vista frontal, lateral y de vista.

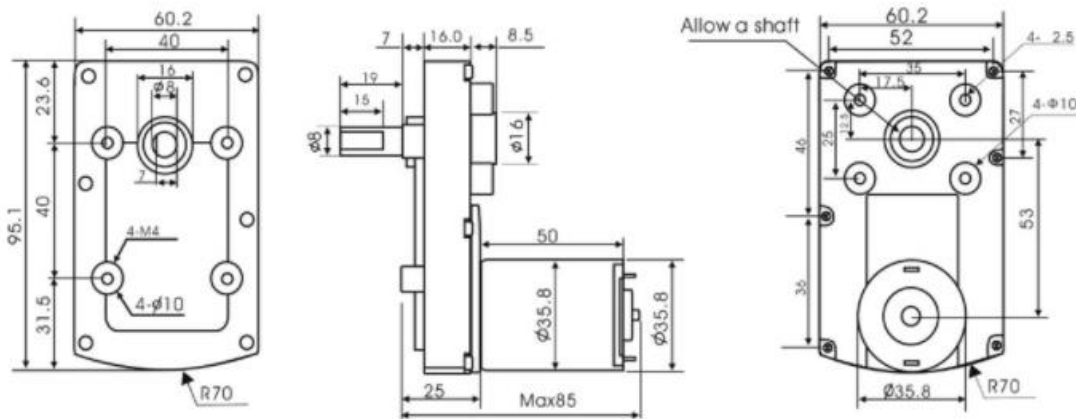


Figura 17: Medidas del motor reductor con doble eje

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tt545-124500-12v-dc-electric-motor-with-gear-reduction-with-dual-shaft-for-encoder-can-be-used-for-coin-refund-devices-etc--60199303086.html>

2.6. Fuente de alimentación análoga variable

2.6.1. Definición

Una fuente regulable es aquella que permite ajustar voltajes en un determinado rango según las necesidades de lo se necesita

alimentar.

En este caso permite ajustar valores de voltaje entre 0 y 30 volts con un valor de corriente de hasta 1 Amper para pruebas de taller, como se observa en la figura 18 una fuente de alimentación análoga.



Figura 18: Fuente de alimentación análoga variable

Fuente: <https://www.mouser.com/ProductDetail/BK-Precision/1710/?qs=nqVuAx8duSTltrkDJS%2f3Kg==>

2.6.2. Especificaciones

- Voltaje de entrada: 120VAC, 220VAC, 230VAC, 240VAC
- Frecuencia de entrada: 50/60 Hz
- Voltaje de salida: 0-30 VDC
- Corriente de salida: 0-1 A
- Consumo: 70W
- Fusible: 120VAC – 1.5A – 20mm
220/230/240VAC – 1A – 20mm
- Peso: 5 Kg

2.7. Ángulo ranurado

2.7.1. Definición

Un ángulo es una barra de metal plana que se ha doblado en un ángulo de 90 grados a lo largo de su longitud, resultando en una pieza en forma de L, normalmente los dos lados del ángulo son de igual longitud.

El ángulo pesado es a menudo un elemento estructural en edificios, puentes, y así sucesivamente, mientras que el más ligero se utiliza para una variedad de soportes como se ve en la figura 19.



Figura 19: Ángulo ranurado

Fuente: <https://www.ractem.es/estanterias-carga-ligera/19-estanteria-de-angulo-ranurado.html>

El ángulo ranurado se utiliza a menudo para montantes en estanterías comerciales, ya que las secciones son fáciles de montar con tuercas y tornillos.

2.7.2. Especificaciones

Los ángulos ranurados tienen diferentes medidas, lo cual cada medida soporta un peso diferente, en la figura 20 se muestra las dimensiones y el peso máximo que soporta.

ESPECIFICACIONES			
DIMENSIONES		PESO	
Pulgadas	mm	kg/m	Kg/pza.
3x4	76.2x101.6		
1/4	6.3	8.630	52.5
5/16	7.9	10.720	65.5
3/8	9.5	12.650	77.5
1/2	12.7	16.520	100.5
4x6	101.6x152.4		
3/8	9.5	18.300	111.5
1/2	12.7	24.110	147
5/8	15.9	29.760	181.5
3/4	19.1	35.120	214.5

Figura 20: Dimensiones y peso de los algonos ranurados

Fuente: <http://acerobsv.com/angulos-estandar.html>

2.8. Cable banana – cocodrilo

2.8.1. Aplicaciones

El cable banana – cocodrilo es muy utilizado por los laboratorios de electrónica y/o física debido a su gran versatilidad con respecto al ensamblado de circuitos de forma rápida y económica además de que estos cables al estar hechos de plástico, excepto en las puntas, ofrecen un excelente aislamiento que impide algún accidente con el operador, como se aprecia en la figura 21 el modelo de este cable.



Figura 21: Cable banana – cocodrilo

Fuente: <https://www.ebay.com/itm/2-Pcs-Red-Black-Banana-Plugs-to-Alligator-Clips-Probe-Test-Cable-1M-YM-/172389321092>

2.8.2. Especificaciones

- Aplicación: trabajo de prueba
- Color: rojo, negro
- Material: Metal, Plástico
- Peso total: 28g
- Paquete: 2 piezas x cables de prueba de clip de cocodrilo

2.9. Sensores RGB

2.9.1. Descripción

El convertidor de luz / frecuencia de color programable TCS230 o RGB (del inglés Red, Green, Blue), combina fotodiodos de silicio configurables y un convertidor de corriente a frecuencia en un circuito integrado CMOS monolítico único. La salida es una onda cuadrada (50% ciclo de trabajo) con frecuencia directamente proporcional a la intensidad de la luz (irradiancia). La frecuencia de salida a escala completa puede ser escalonada por uno de los tres valores preestablecidos a través de dos pasadores de entrada de control. Las entradas digitales y la salida digital permiten una interfaz directa con un microcontrolador u otros circuitos lógicos.

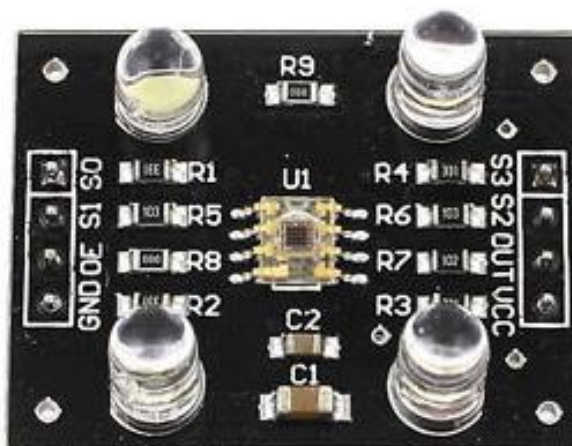


Figura 22: Sensor RGB TCS230

Fuente: <http://www.ebay.com.au/itm/TCS230-TCS3200-Color-Recognition-Sensor-Detector-Module-Board-MCU-/331623392413>

La habilitación de salida (OE) sitúa la salida en el estado de alta impedancia para la compartición de múltiples unidades de una línea de entrada del microcontrolador como se muestra en la figura 22.

El convertidor de luz a frecuencia lee una serie de 8 x 8 de fotodiodos. Dieciséis fotodiodos tienen filtros azules, 16 fotodiodos tienen filtros verdes, 16 fotodiodos tienen filtros rojos y 16 fotodiodos son claros sin filtros.

Los cuatro tipos (colores) de fotodiodos están interdigitados para minimizar el efecto de la no uniformidad de la irradiancia incidente. Todos los 16 fotodiodos del mismo color están conectados en paralelo y el tipo de fotodiodo que el dispositivo utiliza durante el funcionamiento es seleccionable mediante pin. Los fotodiodos tienen un tamaño de 120 μm x 120 μm y están en centros de 144 μm .

El sensor de color es un decodificador completo de color, el módulo tiene 2 partes, el chip sensor TCS230 RGB y 4 leds blancos. El TCS230 puede detectar y medir una gama casi ilimitada de colores visibles.

El TCS230 tiene una matriz de fotodetectores, cada uno con un filtro rojo, verde o azul, o sin filtro (claro). Los filtros de cada color se distribuyen uniformemente en toda la matriz para eliminar el error de ubicación entre los colores.

Al interior del dispositivo hay un oscilador que produce una salida de onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional a la intensidad del color elegido.

2.9.2. Especificaciones

- Single-Supply Operation (2.7V to 5.5V)
- High-Resolution conversion of light intensity to frequency
- Programmable color and full-scale output frequency
- Power down feature
- Communicate directly to microcontroller
- S0-S1: Output frequency scaling selection inputs
- S2-S3: Photodiode type selection inputs

- OUT Pin: Output frequency
- EO Pin: Output frequency enable pin (active low)

2.9.3. Diagrama de bloques funcional

En la figura 23 se muestra el diagrama de bloques de funcionamiento del sensor RGB TCS230.

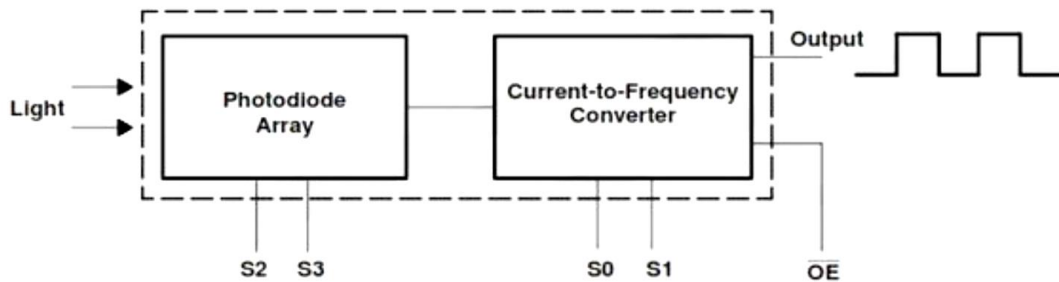


Figura 23: Diagrama funcional

Fuente: <http://www.w-r-e.de/robotik/data/opt/tcs230.pdf>

2.9.4. Función de terminales

Al elegir el filtro de color, el TCS230 puede permitir que solamente un color en particular pase e impida otro color. Por ejemplo, al elegir el filtro rojo, sólo la luz roja incidente puede pasar, azul y verde se evitará, de ese modo se puede obtener la intensidad de la luz roja. Del mismo modo, cuando se elige otros filtros se puede obtener luz azul o verde.

El TCS230 tiene una serie de fotodetectores, cada uno con un filtro rojo, verde o azul, o sin filtro (claro). Los filtros de cada color se distribuyen uniformemente en toda la matriz para eliminar el sesgo de ubicación entre los colores. Internamente al dispositivo hay un oscilador que produce una salida de onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional a la intensidad del color elegido. Hay una salida de tres estados de este oscilador, y el color a ser leído se selecciona utilizando dos líneas de dirección: S2 y S3. Tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Tipo de fotodiodo

S2	S3	TIPO DE FOTODIOSO
L	L	Rojo
L	H	Azul
H	L	Claro (sin filtro)
H	H	Verde

Fuente: <http://www.w-r-e.de/robotik/data/opt/tcs230.pdf>

El TCS230 permite la salida de diferentes frecuencias de ondas cuadradas. Diferentes colores e intensidad de luz corresponden a diferentes frecuencias de ondas cuadradas. Hay una relación entre la salida y la intensidad de luz. El rango típico de la frecuencia de salida es de 2HZ~500KHZ. Se puede obtener diferentes factores de escala por diferentes combinaciones de S0 y S1. Se muestra en la tabla 4.

Tabla 4: Escala de frecuencia de salida

S0	S1	OUTPUT FREQUENCY SCALING (fo)
L	L	Power down
L	H	2%
H	L	20%
H	H	100%

Fuente: <http://www.w-r-e.de/robotik/data/opt/tcs230.pdf>

2.9.5. Definición de Pins

En la figura 16 se ve la distribución de los pines del sensor RGB TCS230 para realizar la conexión en la interfaz Arduino y en la tabla 5 la descripción de cada una.

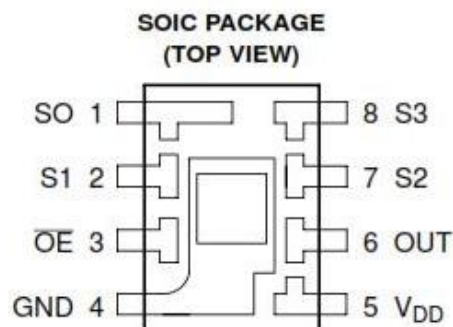


Figura 24: Definición de pines

Fuente: <http://www.w-r-e.de/robotik/data/opt/tcs230.pdf>

Tabla 5: Descripción de terminales

TERMINAL		I/O	DESCRIPCIÓN
NOMBRE	N°		
GND	4		Power supply ground. All voltages are referenced to GND.
OE	3	I	Enable for f_o (active low).
OUT	6	O	Output frequency (f_o).
S0,S1	1,2	I	Output frequency scaling selection inputs.
S2,S3	7,8	I	Photodiode type selection inputs.
V _{DD}	5		Supply voltage.

Fuente: <http://www.w-r-e.de/robotik/data/opt/tcs230.pdf>

2.9.6. Información aplicativa

- Consideraciones sobre la fuente de alimentación: Las líneas de alimentación deben ser desacopladas por un condensador de 0,01 μF a 0,1 μF con cables cortos montados cerca del dispositivo.
- Interfaz de entrada: Se requiere una conexión eléctrica de baja impedancia entre el pin OE del dispositivo y el pin GND del dispositivo para mejorar la inmunidad al ruido.
- Interfaz de salida: La salida del dispositivo está diseñada para impulsar una entrada lógica TTL o CMOS estándar a distancias cortas. Si se utilizan líneas de más de 12 pulgadas en la salida, se recomienda un búfer o controlador de línea. Un estado alto en Output Enable (OE) coloca la salida en un estado de alta impedancia para el intercambio de múltiples unidades de una línea de entrada del microcontrolador. Si se apaga el sensor con S0 / S1 (L / L), la salida se mantendrá en un estado bajo. Debido a que la salida se mantiene baja, el sensor no se puede apagar en una configuración de múltiples unidades con un pin común de salida.
- Tipo de selección del fotodiodo (color): El tipo de fotodiodo (azul, verde, rojo o claro) usado por el dispositivo es controlado por dos entradas lógicas, S2 y S3 (ver Tabla 3).
- Escala de frecuencia de salida: El escalado de frecuencia de salida se controla mediante dos entradas lógicas, S0 y S1. Las

salidas divididas son ondas cuadradas de ciclo de 50% con valores de frecuencia relativa del 100%, 20% y 2%. Debido a que la división de la frecuencia de salida se logra contando impulsos de la frecuencia principal interna, el período de salida final representa una media de los múltiples períodos de la frecuencia principal.

- La función de escala de frecuencia permite optimizar el rango de salida para una variedad de técnicas de medición. Las salidas a escala reducida pueden utilizarse cuando sólo se dispone de un contador de frecuencia más lento, como un microcontrolador de bajo coste, o cuando se utilizan técnicas de medición de períodos.
- La resolución y exactitud máximas pueden obtenerse usando técnicas de medición de frecuencia, de acumulación de impulsos o de integración. Las mediciones de frecuencia proporcionan el beneficio adicional de promediar las variaciones aleatorias o de alta frecuencia (jitter) resultantes del ruido en la señal luminosa. La resolución está limitada principalmente por los registros disponibles del contador y por el tiempo de medición permisible. La medición de frecuencia es adecuada para niveles de luz que varían lentamente o constantemente y para la lectura de niveles de luz promedio durante períodos de tiempo. La integración (la acumulación de pulsos durante un período de tiempo muy largo) se puede utilizar para medir la exposición, la cantidad de luz presente en un área durante un período de tiempo dado.

2.10. Sensor fotoeléctrico

2.10.1. Descripción

El sensor de interrupción fotoeléctrica, más conocido como sensor óptico, es un dispositivo que permite detectar objetos a una distancia determinada, para lograr esto el sensor emite un haz de luz infrarroja que al impactar sobre un objeto es reflejado, este reflejo es detectado por el sensor fotoeléctrico emitiendo una señal

digital en voltaje. Su forma física se puede apreciar en la figura 24. El sensor óptico es utilizado ampliamente en 2 campos: la robótica y la automatización industrial. En robótica permite detectar obstáculos a distancia y así evitar choques o buscar una nueva ruta. En automatización se utiliza para el conteo de piezas en fajas transportadoras, puede detectar materiales como: cartón, vidrio, metal, madera, plástico.



Figura 25: Sensor fotoeléctrico

Fuente:<https://www.kishukostors.com/product-page/sensor-de-proximidad-fotoel%C3%A9ctrico-infrarrojo-e3f-ds30p1>

2.10.2. Funcionamiento

El sensor no emite una señal con la distancia, únicamente muestra estados ON/OFF. Posee un buen rango de detección, que puede ser regulado mediante un potenciómetro dentro del mismo sensor. Además, posee un led que se activa cuando el sensor detecta un objeto, lo que nos permite calibrar y comprobar el buen funcionamiento del sensor, en la figura 26 es posible apreciar cómo funciona el sensor.

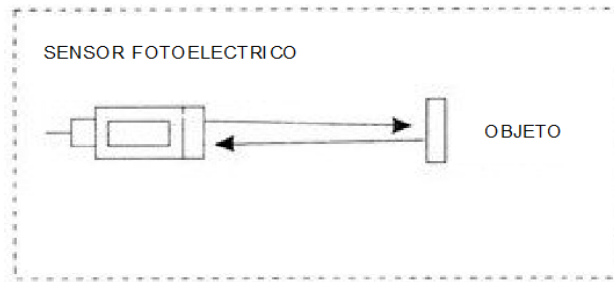


Figura 26: Funcionamiento del sensor fotoeléctrico

Fuente: Elaboración propia

Este sensor óptico tiene un principio de funcionamiento tipo PNP, con niveles lógicos de salida que cambian entre la tensión de la fuente de alimentación del sensor y un circuito abierto. En este caso, como se muestra en la figura 27, el transistor de salida PNP tiene el emisor conectado a Vcc y el colector no está comprometido. Cuando la salida está conectada a una carga con conexión a tierra, el transistor hará que la tensión de carga sea cero (cuando el transistor está apagado) o aproximadamente Vcc (cuando el transistor está encendido).

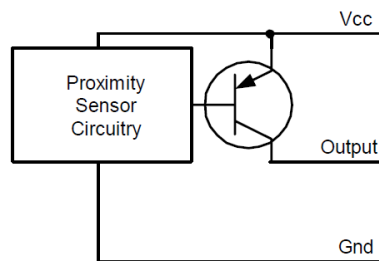


Figura 27: Sensor con salida PNP

Fuente: Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications by John R., Frederick D.

Esto es ideal para suministrar cargas que tienen requisitos de suministro de energía que son los mismos que los del sensor, y uno de los dos cables de conexión de la carga ya está conectado a tierra. Observe en la Figura 28 que esto permite un diseño más simple porque solo se necesita una fuente de alimentación. Sin embargo, la desventaja en este tipo de circuito es que el sensor y la carga (entrada a PLC, por ejemplo) se deben seleccionar de modo que funcionen con la misma tensión de alimentación.

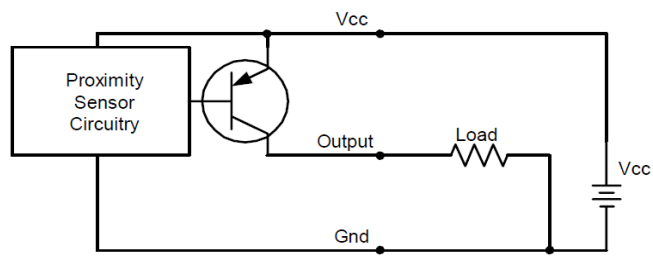


Figura 28: Conexión de carga del sensor PNP

Fuente: Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications by John R., Frederick D.

2.10.3. Especificaciones

- Voltaje de Operación: 10 - 30 VDC
- Corriente de trabajo: 25 - 200 mA
- Rango de detección: 3 - 30 cm
- Emisor de luz: Led infrarrojo
- Salida: Tipo PNP normalmente abierto
- Tamaño: 68 x D23.5 mm
- Dimensiones: D18 mm
- Material de la carcasa: plástico
- Respuesta de Frecuencia: 0.5 KHz
- Temperatura de trabajo: -25 a 70°C

2.11. PLC SIEMENS S7-1200

2.11.1. Definición

Un controlador lógico programable, más conocido como PLC, es una computadora o controlador utilizado para la automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, electroneumáticos o eléctricos. En la figura 29 se muestra el modelo de PLC S7-1200.

Los PLC debido a su gran gama de funciones son muy requerido en la industria y maquinas, ya que estos poseen múltiples señales de entradas y salidas, amplios rangos de temperatura, inmune al ruido eléctrico y robusto.



Figura 29: PLC S7-1200

Fuente: <https://www.amelero.com/recursos/instalaciones-electrot%C3%A9cnicas/automatizaci%C3%B3n-siemens-s7-1200-tia-portal/>

2.11.2. Características generales

El PLC S7-1200 ofrece un amplio abanico de características técnicas entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- Alta capacidad de procesamiento. Cálculo de 64 bits.
- Interfaz Ethernet / PROFINET integrado.
- Entradas analógicas integradas.
- Bloques de función para control de ejes conforme a PLCopen.
- Programación mediante la herramienta de software STEP 7 Basic v13 para la configuración y programación del S7-1200.

A los S7-1200 pueden equiparse hasta con tres módulos de comunicación los cuales se colocan a la izquierda del controlador, lo que permite una comunicación sin discontinuidades. Esto módulos son:

- PROFIBUS Maestro/esclavo
- Comunicación GPRS
- AS-i y más sistemas Fieldbus

2.11.3. Características específicas

A continuación, se presenta los datos técnicos del PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RLY:

- Software: STEP 7 V11.00 SP2 o superior.
- Alimentación: 120/230 V AC.

- Alimentación de sensores: 24V (20.4 – 28.8 V).
- Memoria de trabajo: 75 Kbyte.
- Memoria de carga: 4Mbyte.
- Entradas digitales: 14 integrada / 6 HSC (High Speed Counting).
- Salidas digitales: 10 Relay.
- Entradas analógicas: 2 (0 – 10 V).
- Condiciones ambientales: -20°C – 60°C.
- Lenguaje de programación: KOP/FUP/SCL
- Dimensiones: 110 x 100 x 75 mm
- Peso: 455 g.

2.11.4. Automatización por PLC

Dichos controladores son procesadores digitales secuenciales programables que actúan sobre las variables de salida mediante la ejecución de una secuencia de instrucciones y por ello se denominan controladores lógicos programables y se les conoce por las siglas PLC.

Variables de entradas y salidas: Los dispositivos de entrada considerados incluyen dispositivos digitales y analógicos tales como interruptores mecánicos para detección de posición, interruptores de proximidad, interruptores fotoeléctricos, codificadores, interruptores de temperatura y presión, potenciómetros, transformadores diferenciales lineales variables, extensómetros, termistores, termotransistores y termopares. Los dispositivos de salida considerados incluyen relés, contactores, electroválvulas y motores.

La unidad de entrada puede estar constituida por un multiplexor realizado mediante puertas de tres estados, tal como indica en la figura 30 que presenta una unidad de $2n$ variables. Cada variable de entrada se conecta a una puerta seguidora con salida de tres estados que posee además una entrada de desinhibición EN (del

inglés Enable). Las salidas de todas las puertas de tres estados se conectan entre sí para constituir una barra (Bus) de entrada.

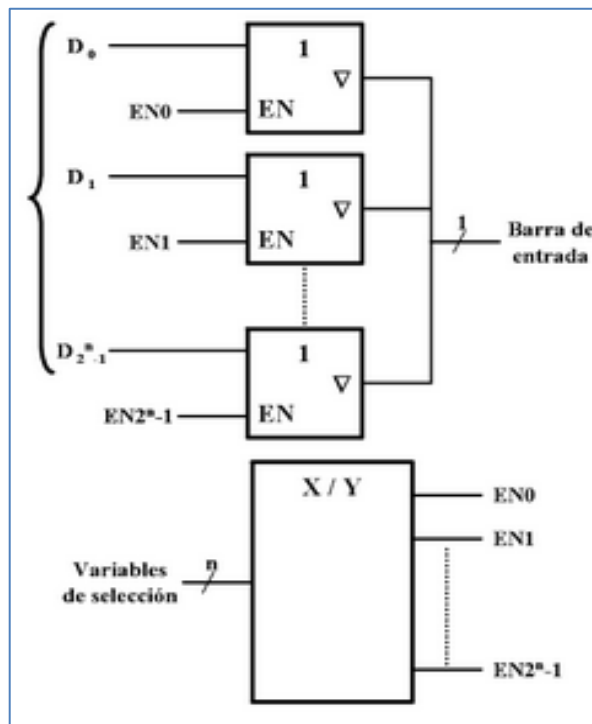


Figura 30: Unidad de entrada con conexión o barra única (Bus)

Fuente: Automatas programables y sistemas de automatización por Enrique M., Jorge M., Celso F.

Un programa en el lenguaje de lista de instrucciones está compuesto por una secuencia de instrucciones. Todo autómata programable que cumple la norma IEC 1131-3 dispone como mínimo de las instrucciones que se muestra en la tabla 6 clasificadas por grupos. En ella se observa a que las instrucciones están formadas por tres partes o campos:

- El campo de "Operador" que indica el tipo de operación realizada.
- El campo opcional denominado "Modificador" que influye de alguna forma en el resultado de la operación.
- El campo de "Operando" que especifica la variable con las que se ejecutan la operación.

Tabla 6: Instrucciones del lenguaje de lista de instrucciones de la norma IEC 1131-3

Operador	Modificador	Operando	Descripción
LD	N		Selecciona la primera variable
ST	N		Actúa sobre una variable de salida
S		Variable lógica (<i>Bool</i>)	Pone una variable de un bit a 1
R		Variable lógica (<i>Bool</i>)	Pone una variable de un bit a 0
AND	N, (	Variable lógica (<i>Bool</i>)	Y lógica de un bit
OR	N, (	Variable lógica (<i>Bool</i>)	O lógica de un bit
XOR	N, (	Variable lógica (<i>Bool</i>)	O exclusiva de un bit
ADD	(		Suma (<i>Addition</i>)
SUB	(		Resta (<i>Subtraction</i>)
MUL	(		Multiplicación (<i>Multiplication</i>)
DIV	(		División (<i>Division</i>)
MOD	(		Resto de la división (<i>Modulo-Division</i>)
GT	(		Comparación > (<i>Greater Than</i>)
GE	(		Comparación >= (<i>Greater Equal</i>)
EQ	(		Comparación = (<i>Equal to</i>)
NE	(		Comparación <> (<i>Not Equal</i>)
LE	(		Comparación <= (<i>Less Equal</i>)
LT	(		Comparación < (<i>Less Than</i>)
JMP	C, N	Etiqueta (<i>Label</i>)	Salto a etiqueta (<i>Jump</i>)
CAL	C, N	Nombre (<i>Name</i>)	Saltar a un bloque funcional (subprograma)
RET	C, N		Retorno de bloque funcional (subprograma)
)			Evaluar la operación aplazada
AND	N, (	<i>Byte, Word, DWord</i>	Y lógica entre combinaciones binarias
OR	N, (	<i>Byte, Word, DWord</i>	O lógica entre combinaciones binarias
XOR	N, (	<i>Byte, Word, DWord</i>	O exclusiva entre combinaciones binarias

Fuente: Automatas programables y sistemas de automatización por Enrique M., Jorge M., Celso F.

2.12. Actuador universal

2.12.1. Descripción

El actuador o también conocido como motor de cierre centralizado es un dispositivo que en su interior tiene un pequeño motor eléctrico. Este dispositivo es el encargado de clasificar en cuatro contenedores diferentes las botellas por color y su forma física se puede apreciar en la figura 31.



Figura 31: Motor de cierre centralizado

Fuente: http://www.electrotiendadigital.com/catalog/accesorios-electricos/cierre-centralizado-c-1617_1686_1749.html

Para controlar un motor de cierre centralizado se debe aplicar tensión y corriente de 12v y 1A respectivamente para su correcto desempeño. Dependiendo del trabajo que se realizara disponen de dos cables, ambos para alimentación, que hace que el motor sea accionado y al desenergizar regrese a su posición original. En la figura 32 es posible apreciar ejemplos del motor energizado y desenergizado respectivamente.



Figura 32: Motor energizado y sin energizar

Fuente: Elaboración propia

2.12.2. Especificaciones

- Fuente: 12 – 24 VDC
- Consumo: 0.1-0.5A
- Fuerza de desplazamiento: Hasta 2.5 kg
- Distancia de desplazamiento: 18 mm
- Peso: 130g
- Tamaño: 145 x 60 x 30 mm

2.13. Interfaz RGB-PLC

La interfaz que se usó para poder interpretar las señales enviadas por los sensores RGB y enviar los pulsos de voltaje para que el PLC lo interprete, fue un Arduino Mega2560.

2.13.1. Definición

El Arduino es una plataforma que posee un código abierto, utilizado para la elaboración de proyectos electrónicos, cuenta con una placa con circuito programable (microcontrolador) y con el software libre que se puede utilizar en cualquier ordenador.

En la figura 33, se aprecian el modelo MEGA2560, que se utilizó en el prototipo de tesis, el cual nos ayuda como un circuito de acondicionamiento, el cual recibe señal de tipo frecuencia (Hz) y lo transforma en pulso de 5V.

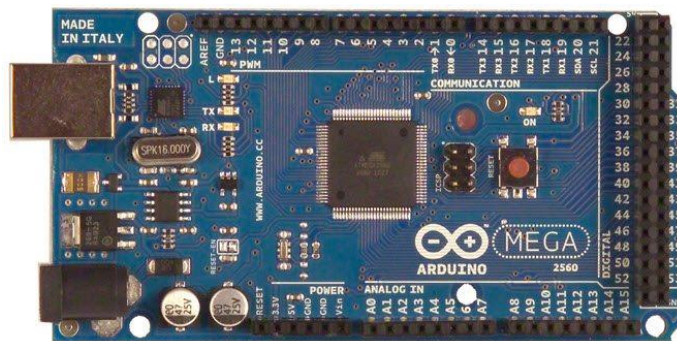


Figura 33: Arduino MEGA2560

Fuente: <https://www.theengineeringprojects.com/product/arduino-mega-2560-in-pakistan>

2.13.2. Amplificador de voltaje

Para que el PLC pueda detectar pulsos de entradas a través de sus inputs, es necesario que estos pulsos sean de 24V. Se usó un amplificador de voltaje conectado a las salidas del Arduino para poder amplificar los 5V a 24V y así realizar la correcta comunicación entre los sensores y el PLC.

El circuito amplificador que se armó fue implementado con optoacopladores.

2.13.2.1. Definición

Los optoacopladores basan su funcionamiento en el accionar de un haz de luz para transmitir señales de un circuito a otro sin necesidad de tener una conexión entre sí, suelen ser de gran ayuda si se necesita proteger un

circuito de bajo voltaje/amperaje de otro que utiliza un voltaje o amperaje mayor.

Los optoacopladores son el reemplazo perfecto para los relés, ya que tienen una velocidad mayor de conmutación, ocupan menos espacio y protegen mejor a los circuitos, la figura 34 se muestra el optoacoplador.



Figura 34: Optoacoplador

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/10PCS-PC817-PC817C-PC817-C-PC817-SHARP-SOP-4-Precise-SMD-Optocoupler-/221923368241>

2.13.2.2. Especificaciones

- Elemento: Semiconductor
- Número de canales: 1
- Salida: Transistor
- Tensión de soporte: 35V
- Carcasa: DIP4
- Peso: 0.43g

2.14. Adaptador de corriente alterna

2.14.1. Definición

También conocido como fuente de alimentación o adaptador de alimentación, un adaptador AC se enchufa a una toma corriente estándar y convierte la corriente eléctrica alterna de la toma de la pared a las especificaciones requeridas por el dispositivo en el que esté enchufado. El adaptador AC es

una caja unida a un cable de alimentación, ya sea en el extremo del cable, donde el dispositivo se enchufa a la toma de la pared, o en el medio del cable de alimentación, en la figura 35 se muestra el adaptador utilizado para alimentar la faja transportadora.



Figura 35: Adaptador de corriente alterna

Fuente: https://www.avito.ru/moskva/orgtehnika_i_rashodniki/setevoy_blok_pitaniya_motorola_2580162r02_810943477

2.14.2. Funcionamiento

Un adaptador AC convierte la corriente eléctrica recibida desde la toma corriente en, por lo general, una corriente alterna más baja que un dispositivo electrónico pueda usar, dentro del adaptador AC hay dos bobinas de alambre que envuelven un núcleo de hierro. La primera bobina recibe la corriente alterna de 120 V proveniente de la toma corriente y genera un campo eléctrico en el núcleo de hierro.

La segunda bobina convierte al nuevo campo eléctrico generado en una corriente alterna más pequeña. La medida de la corriente alterna resultante depende del número de espiras en la segunda bobina en relación con el número en la primera, si la segunda bobina tiene la mitad de espiras

que la primera, la corriente alterna resultante tendrá la mitad del valor de la que ingresó al adaptador. Por lo tanto, si hubiera 100 espiras en la primera bobina, la segunda sólo debería tener 50.

2.14.3. Especificaciones

- Voltaje de entrada clasificado: 220 V, 50 - 60Hz
- Tensión nominal de salida: 14.2 V
- Corriente de salida: 1.5A
- Peso: 1.135Kg
- Longitud del cable: 4m desde el conector a la toma
- Dimensiones totales, WxHxD, mm: 80 x 65 x 125

CAPÍTULO III: DIMENSIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE CLASIFICACIÓN DE PLÁSTICO POR COLORES

En este capítulo se abarcará todo lo relacionado a la parte mecánica y eléctrica, así como su diseño, armado de la estructura e implementación de los sensores y actuadores, dando los alcances necesarios para su diseño e implementación.

3.1. Diseño del prototipo de la faja transportadora.

Estructura de funciones del sistema mecatrónico:

En la figura 36 se muestra el bloque de funciones del sistema mecatrónico aplicado en la automatización de la faja transportadora clasificadora de botellas plástico por color. En cómo actúan en conjunto los sensores, interfaz, controlador, actuadores, etc.

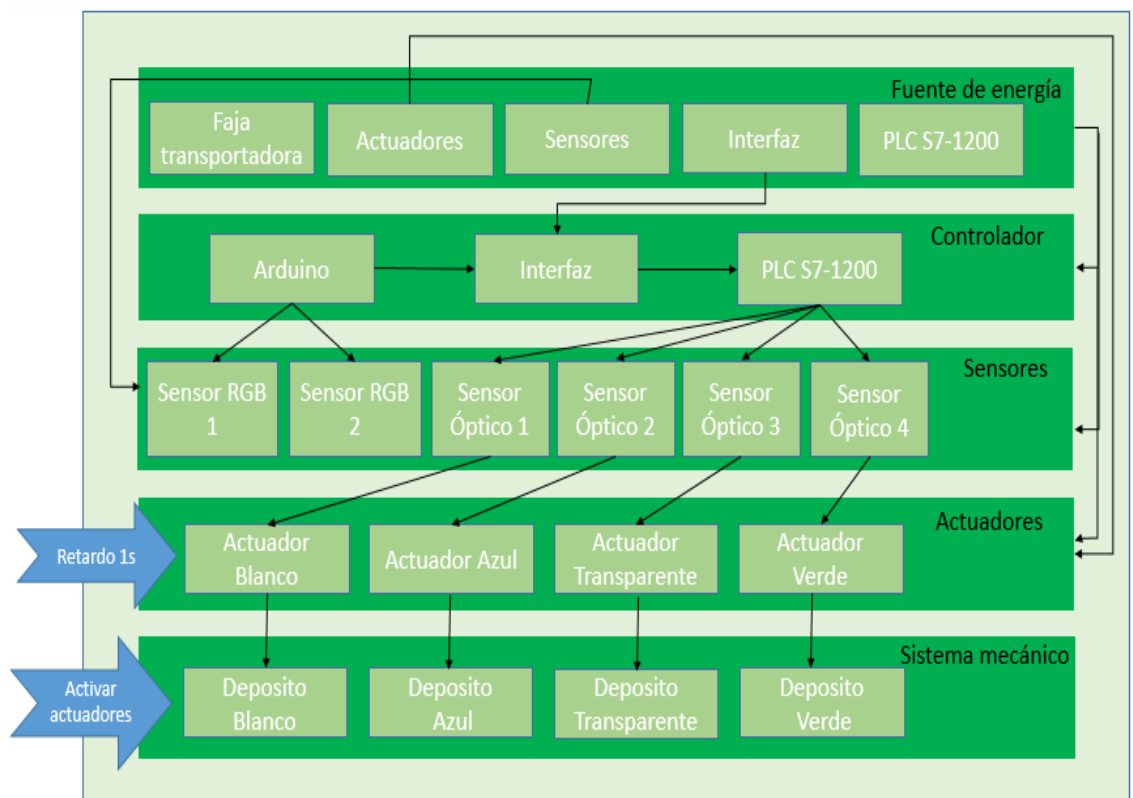


Figura 36. Bloque de funciones de la automatización de la faja transportadora

Fuente: Elaboración Propia

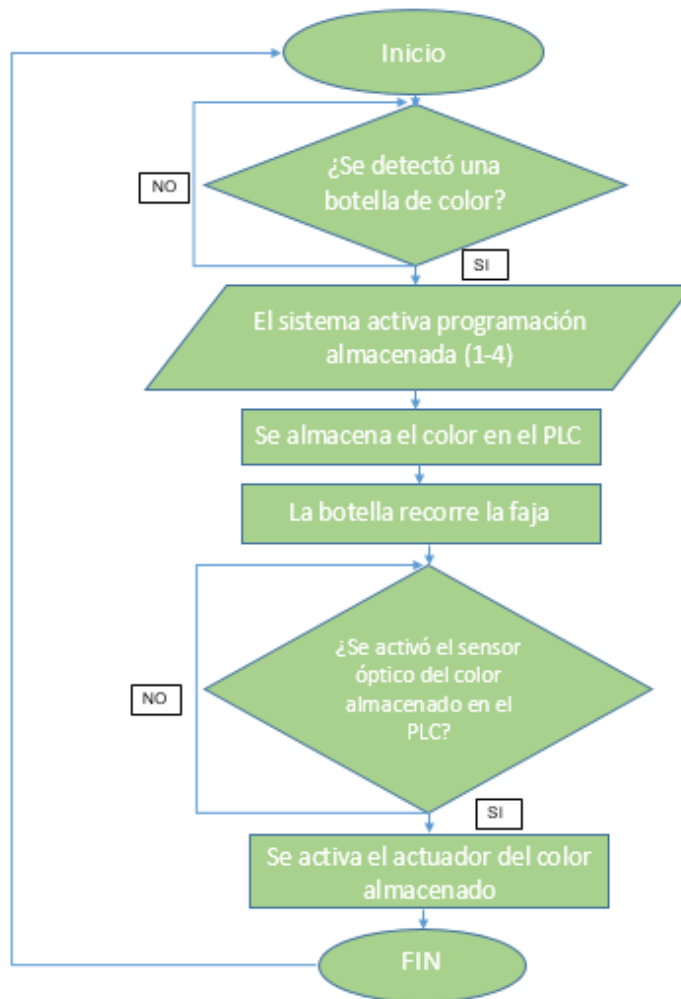


Figura 37: Diagrama de flujo del Funcionamiento

Fuente: Elaboración Propia

De la figura 37, se logra afirmar las siguientes conclusiones:

- a) Para comenzar a realizar la clasificación de las botellas de plástico, los sensores RGB deben de detectar una botella de algún color establecido.
- b) Inmediatamente, después de que los sensores RGB detecten una botella de color establecido se realizara él envío de datos, en caso de que no detecte ninguna botella o detecte alguna de un color no establecido, estos no mandaran ningún dato y no se realizará ninguna acción.
- c) Una vez detectada y sensada la presencia de una botella con color establecido, la interfaz de Arduino envía un pulso al sistema de acondicionamiento.

- d) El sistema de acondicionamiento transforma el pulso de 5v enviado del Arduino a 24v para que el PLC lo pueda detectar.
- e) Cuando el PLC detecta un pulso, este activa una función ya programada, pero, este necesita de la señal del sensor óptico para activar el actuador.
- f) A continuación, se inicia el proceso de activación de los sensores ópticos, esperando que se active el sensor del color detectado.
- g) Una vez detectado el sensor óptico con el color almacenado en el PLC, este tiene un retraso de 1 segundo antes de activar el actuador.
- h) El prototipo está diseñado para funcionar de manera autónoma, debido a que en este proceso es realizado aun de forma manual.

3.2. Diseño de la parte eléctrica

Para el diseño de la parte eléctrica de la faja clasificadora de botellas de plástico por color, se contó con los principales componentes: el motor de la faja transportadora, las fuentes de alimentación (uno del PLC, otro para los actuadores, otro para el sistema de la interfaz y el ultimo para alimentar el motor de la faja).

Para los actuadores, que tenían un consumo de 12v y 0.2A cada uno, se utilizó una fuente análoga regulable, la cual la fuente tiene un rango de 0 a 30v y de 0 a 1 A. Debido a que solo se activaba 1 actuador en cada proceso, esta fuente cumplía de forma satisfactoria el suministro de alimentación.

Para el motor de caja reductora, este debía de tener su propia fuente de alimentación debido a que está siempre en movimiento, lo cual se decidió utilizar una fuente de alimentación de 14.2V y 1.5A, debido a que el motor, al tener carga, tenía un consumo de 900mA, lo cual esta fuente cumplía de forma satisfactoria el suministro de alimentación.

Para el PLC, este se conectaba a la red eléctrica, lo cual no necesitaba una fuente de alimentación externa.

Para el sistema de acondicionamiento (Arduino e interfaz Arduino-PLC), este tiene un rango de trabajo de 5V a 12V se requirió una fuente de alimentación extra, la cual fue de 12V y 1A respectivamente, con esta fuente el sistema de acondicionamiento trabajo de forma satisfactoria.

3.3. Diseño de la parte mecánica

3.3.1. Plancha de metal

El material escogido para la estructura central del sistema mecánico fue la plancha de metal, debido a sus características y utilidades físicas que se acomodan para el prototipo, entre estas están:

- Su resistencia mecánica la hace perfecta para el esfuerzo y el área donde se ubica la faja transportadora.
- Alta dureza
- Alta resistencia a la oxidación
- Alta resistencia a la corrosión
- Alta resistencia a altas temperaturas
- Resistencia a la intemperie e áreas inhóspitas, es un material cuyas cualidades y funciones permanecen intactas durante muchos años de servicio.

Se decidió utilizar una lámina de metal de dimensiones 90x20 y de espesor de 2mm debido a que es resistente, duradero y permite que las botellas de plástico tengan estabilidad durante su traslado.

3.3.2. Faja transportadora

El diseño mecánico del prototipo de la faja transportadora estuvo planeado para clasificar un promedio de 340 botellas por hora. Debido a esto, todos los actuadores y sensores ópticos estuvieron separados por una distancia prudente para que no exista algún tipo de confusión al enviar a su respectivo contenedor, así mismo, tener contenedores grandes para cada color.

Para comenzar con el diseño mecánico, fue necesario conocer el tiempo necesario entre cada clasificación de botella a botella, independientemente del color a clasificar.

3.3.3. Definición de parámetros

Para calcular las dimensiones de nuestro prototipo, primero se debe saber las características del material a transportar, para eso utilizamos el método I.S.O y F.M.E. que consiste en diferenciar el material por tamaño, forma y peso específico.

3.3.4. Tamaño

El tamaño de las botellas de plástico está definido por cada fabricante. Los materiales se clasifican desde el punto de vista del tamaño para su transporte en clasificados / uniformes. Para los materiales clasificados, el tamaño mínimo a considerar será de 2.5 mm. De acuerdo con esta clasificación se seleccionará un ancho de banda mínimo que cumpla estas condiciones. También la selección del tamaño de las botellas de plástico influirá en el valor del tamaño de los rodillos a utilizar.

3.3.5. Cálculo para determinar el tipo de motor

Para saber las características necesarias a utilizar para el motor de la faja transportadora, se tomó en cuenta factores como:

Botella:

- Diámetro: 6cm
- Alto: 25cm
- Área material (botella): $2.83 \times 10^{-3} \text{m}^2$ aprox.
- Volumen: $70.75 \times 10^{-3} \text{m}^3$ aprox.
- Peso: 8-10 gr. Aprox.

Faja:

- Útil: 110cm x 12cm
- Total: 240cm x 12cm

Rodillo:

- Peso: 0.55 kg
- Diámetro: 4 cm
- Longitud: 15 cm

1. Cantidad de botellas en la faja:

$$\text{Capacidad} = L/D = 110/6 = 18 \text{ botellas en fila}$$

2. Cálculo de la cinta completamente cargada:

$$V_c = L \times A \times 18$$

Siendo:

V_c = cinta completamente cargada (m^3)

L= largo de la cinta (m)

A= área del material (m^2)

Calculando:

$$V_c = L \times A \times 18$$

$$V_c = 1.1 \times 2.83 \times 10^{-3} \times 18$$

$$V_c = 0.056m^3$$

3. Cálculo de la velocidad necesaria:

Calculamos la velocidad en número de veces por hora que la cinta debe ser llenada o cargada, considerando 340 botellas como capacidad total y 4 botellas en la faja:

$$N^{\circ}\text{veces} = \frac{\text{Cap.}}{\text{Tot.}}$$

Siendo:

$N^{\circ}\text{veces}$ = número de veces que la cinta debe ser cargada por hora.

Cap.= capacidad (m^3)

V_{tot} = volumen total (m^3)

$$N^{\circ}\text{veces} = \frac{340}{4}$$

$$N^{\circ}\text{veces} = 85 \text{ por hora}$$

Ahora se calculará la velocidad en m/h:

$$V = N^{\circ}\text{veces} \times L$$

Siendo:

V= velocidad (m/h)

N°veces= número de veces que la cinta debe ser cargada por hora.

L= largo de la cinta (m)

$$V = 85 \times 1.1$$

$$V = 93.5 \text{ m/h}$$

$$V = 0.0256 \text{ m/seg}$$

Para efectos de cálculo, la velocidad deberá ser trabajada en m/s.

4. Cálculo de potencia del tambor motriz:

$$Pt = \frac{C_4 \times f \times L[3.6 \times (k_1 + k_2 + k_3) \times V + k_4]}{367} + \frac{k_4 \times h}{367} + Rec$$

Siendo:

Pt = potencia tambor motriz (Kw)

C₄= factor en función del largo de cinta

f = factor de rozamiento

L = largo de la cinta (m)

k₁= peso de la banda (Kg/m)

k₂= peso de los polines de carga (Kg/m)

k₃= peso de los polines de retorno (Kg/m)

k₄= peso a transportar (Tons/h)

V = velocidad (m/s)

h = altura a transportar el material (m)

Rec = recargo (Kw)

Los factores C_4 y f pueden ser extraídos del catálogo “TRANSILON, bandas transportadoras”, los cuales se obtuvieron de la tabla 7 para el coeficiente de fricción y de la tabla 8 para el factor en función del largo de cinta.

Tabla 7: Coeficientes de rozamientos para correas

Tipo de correas	Material poleas	μ (aproximado)
Cuero	Fundición o acero	0,15 a 0,30
Cuero	Madera o fibra	0,30 a 0,40
Balata	Fundición o acero	0,25 a 0,30
Algodón	Fundición o acero	0,20 a 0,40
Caucho	Fundición o acero	0,30 a 0,50

https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_anio/mecanica_electrica/Correas.pdf

Tabla 8: Factor C_4

l_t (m)	25	50	75	100	150	200
C_4	2	1,9	1,8	1,7	1,5	1,3

https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-21_09-06-57105684.pdf

Para una longitud total de 1.1 m de l_t , corresponde un $C_4 = 2.0956$

Para K_4 :

$$K_4 = 340 \text{ botellas/h} \times 10 \text{ gr}$$

$$K_4 = 3400 \text{ gr/h}$$

$$K_4 = 3.4 \text{ kg/h}$$

$$K_4 = 0.0034 \text{ Tons/h}$$

Con estos datos se calcula:

$$Pt = \frac{C_4 \times f \times L[3.6 \times (k_1 + k_2 + k_3) \times V + k_4]}{367} + \frac{k_4 \times h}{367} + \text{Rec}$$

$$P_t = \frac{2.0956 \times 0.4 \times 1.1 [3.6 \times (0.7488 + 0.55 + 0.55) \times 0.0256 + 0.0034]}{367}$$

$$P_t = 4.366 \times 10^{-4} \text{ kw}$$

$$P_t = 0.4366 \text{ w} \cong 0.5 \text{ w}$$

5. Cálculo de la potencia motriz necesaria:

$$P_m = \frac{P_t}{\eta}$$

Siendo:

P_m = potencia motriz necesaria. (Kw)

P_t = potencia tambor motriz. (Kw)

η = rendimiento (89% = 0.89)

$$P_m = \frac{0.5}{0.89}$$

$$P_m = 0.562 \text{ w}$$

Con este resultado obtenemos la potencia necesaria para poder mover el rodillo motriz es de 0.562w, con cual se optó por escoger un motor mayor a 0.6 w de potencia.

6. Calculo de la potencia efectiva:

El cálculo realizado anteriormente, (potencia motriz necesaria), nos permitió realizar la selección del motor que vamos a utilizar, éste motor nos entregará una potencia diferente a la obtenida por cálculo (generalmente mayor), por esto se debemos calcular la potencia efectiva de éste motor dada por la siguiente fórmula. Según el motor escogido (DC Gear Motor TT545124500-150K) con una potencia de 2.9 w se hace el cálculo:

$$P_{\text{efectiva}} = P_m \times \eta$$

Siendo:

Pefectiva = potencia efectiva (Kw)

Pm = potencia entregada por el motor (Kw)

η = rendimiento (89% = 0.89)

$$\text{Pefectiva} = P_t \times \eta$$

$$\text{Pefectiva} = 2.9 \times 0.89$$

$$\text{Pefectiva} = 2.581 \text{ w}$$

$$\text{Pefectiva} = 2.581 \times 10^{-3} \text{ kw}$$

7. Cálculo de la fuerza periférica en el tambor:

$$F_{pt} = \frac{\text{Pefectiva} \times 1000}{V}$$

Siendo:

Fpt = fuerza periférica en el tambor. (N)

Pefectiva = potencia efectiva. (Kw)

V = velocidad. (m/s)

$$F_{pt} = \frac{\text{Pefectiva} \times 1000}{V}$$

$$F_{pt} = \frac{2.581 \times 10^{-3} \times 1000}{0.0256}$$

$$F_{pt} = 100.82 \text{ N}$$

8. Cálculo del número de revoluciones del tambor de accionamiento:

$$n_t = \frac{V * 19100}{D_t}$$

Siendo:

nt = revoluciones del tambor de accionamiento. (1/min)

V = velocidad. (m/s)

Dt = diámetro tambor seleccionado. (mm)

$$nt = \frac{V * 19100}{Dt}$$

$$nt = \frac{0.0256 * 19100}{40}$$

$$nt = 12.224RPM$$

9. Cálculo de la relación de reducción:

$$i = \frac{rpm(entrada)}{rpm(salida)}$$

Siendo:

i = relación de reducción.

$rpm(entrada)$ = revoluciones por minuto de entrada. (1/min)

$rpm(salida)$ = revoluciones por minuto de salida. (1/min)

$$i = \frac{rpm(entrada)}{rpm(salida)}$$

$$i = \frac{22}{12.224}$$

$$i = 1.8$$

10. Relación de dientes de engranaje:

Tomando en cuenta que el eje del motor se obtuvo con un engranaje de 12 dientes y una velocidad de 22RPM según la tabla 2, se calcula la cantidad de dientes del engranaje del rodillo motriz de acuerdo a la velocidad calculada:

$$D_1 n_1 = D_2 n_2$$

Siendo:

D_1 = número de dientes de engranaje de salida

n_1 = velocidad de salida (RPM)

D_2 = número de dientes de engranaje de entrada

n_2 = velocidad de entrada (RPM)

$$D_1 n_1 = D_2 n_2$$

$$12 \times 22 = D_2 \times 12.224$$

$$D_2 = \frac{12 \times 22}{12.224}$$

$$D_2 = 21.597 \cong 22 \text{ Diente}$$

11. Cálculo del torque en el eje del tambor motriz:

El motor escogido tiene una potencia 2.9 w con lo cual se hace la conversión a HP para la fórmula:

$$T = \frac{4500 \times P}{2 \times \eta}$$

Siendo:

T = torque en el eje del tambor motriz. (Kp*m)

P = potencia. (HP)

η = revoluciones por minuto de salida. (rpm)

$$1HP = 745.7 w$$

$$2.9w \rightarrow 3.889 \times 10^{-3} HP$$

$$T = \frac{4500 \times P}{2 \times \eta}$$

$$T = \frac{4500 \times 3.889 \times 10^{-3}}{2 \times 12.224}$$

$$T = 0.7158 Kp.m$$

$$T = 0.7158 \times 9.8N$$

$$T = 7.015 Nm$$

Este torque se aplicaría cuando el motor se encuentra en el mismo ángulo que el motor, pero el motor se encuentra ubicado de la siguiente forma:

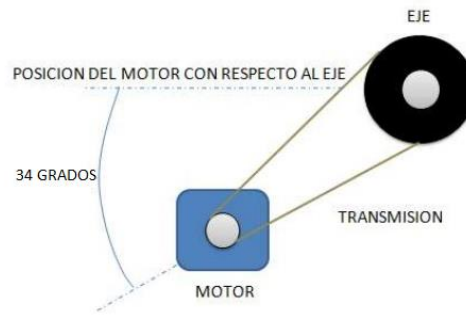


Figura 38: Posición del motor con respecto al eje.

Fuente: Elaboración propia

Esta posición modifica el torque que la transmisión aplica sobre el eje, con lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$M_t = T \cos \theta$$

$$M_t = 7.015 \cos 34$$

$$M_t = 5.8157 Nm$$

3.3. Diseño del prototipo en AutoCAD

Para diseñar la faja transportadora, se tuvo en cuenta factores como el largo de la faja, ancho y altura, así como los cálculos realizados, logrando así obtener un diseño óptimo para clasificar las botellas de plástico, en la figura 39 y 40 se observa el diseño en el programa AutoCAD.

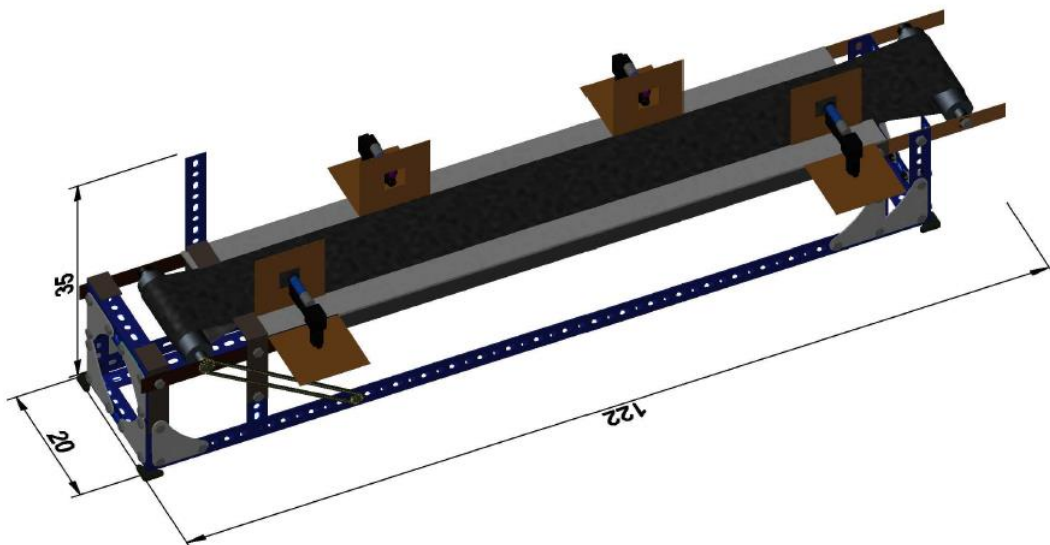


Figura 39: Diseño de la estructura

Fuente: Elaboración propia

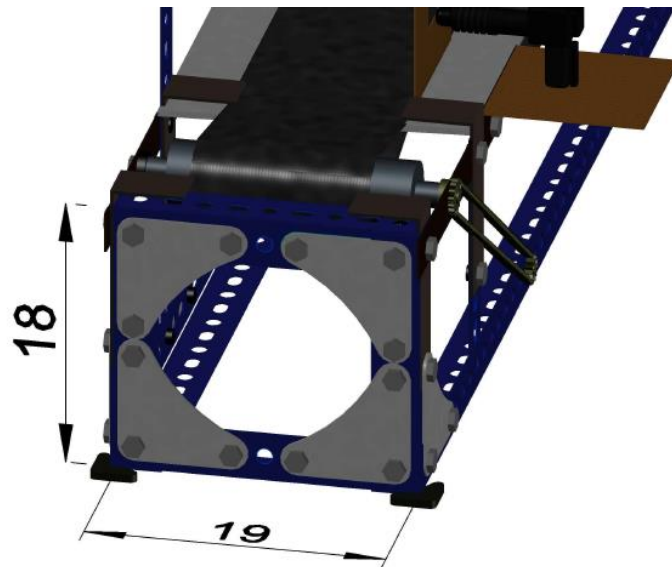


Figura 40: Uniones de estructura virtual
Fuente: Elaboración propia

3.4. Implementación del prototipo

En la implementación del diseño, se implementó ángulos ranurados y para el soporte de la cinta se usó una plancha de acero. La cinta transportadora está hecha a base de materiales sintéticos, la cual tiene un largo útil de 110cm x 11.5cm de ancho, medidas necesarias para el transporte de las botellas de plástico a reciclar.

Para la unión de las piezas metálicas se usaron pernos hexagonales de 3/8" x 1" y tuercas hexagonales de 3/8" para la fijación de los pernos a la estructura. La figura 41 y 42 muestran la estructura armada.



Figura 41: Estructura armada
Fuente: Elaboración propia

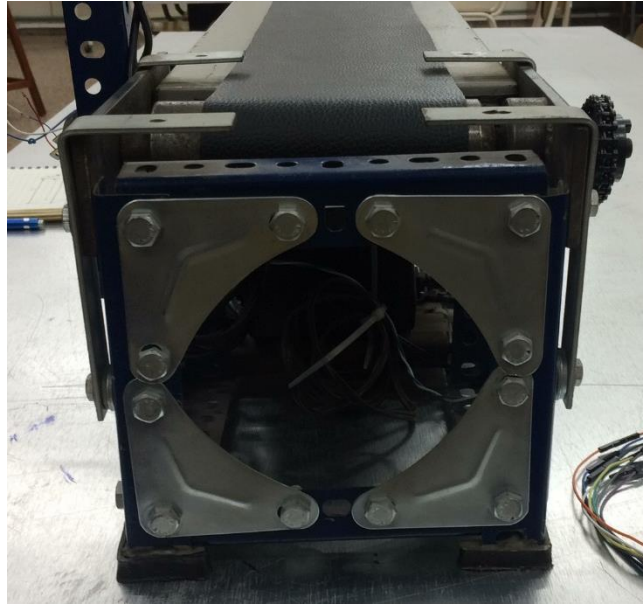


Figura 42: Uniones de estructura física
Fuente: Elaboración propia

La cinta o faja transportadora se sujetó a dos rodillos de acero anclados a rodajes y engranajes unidos por una cadena que le dio facilidad de desplazamiento.

Estos engranajes están en relación de 12 a 22 dientes por engranaje motor y engranaje de salida respectivamente. Este engranaje motriz está conectado a un motor DC alimentado por un transformador de 15V y 1.5A. Este sistema mecánico le da a la cinta transportadora una velocidad final aproximada de 2.56cm/seg, en la figura 43 se muestra la parte mecánica del prototipo.



Figura 43: Mecánica del prototipo
Fuente: Elaboración propia

3.5. Instalación de los sensores RGB

El acondicionamiento de los sensores RGB se hicieron en dos barras de ángulos ranurados, uno en frente de otros ubicados a los laterales del inicio de la faja.

Los sensores se acoplaron al metal, colocándoles una capa de silicona para no generar un cortocircuito. Luego de haber instalado, se recubrieron los sensores con cartón corrugado para que estén aislados de la luz exterior, ya que este factor produjo mucha interferencia al momento de tomar las medidas, la calibración no fue precisa y el margen de error era muy amplio. Con este recubrimiento, se solucionó el problema de la interferencia, haciendo que el margen de error disminuya considerablemente, obteniendo una precisión del 90%. En la figura 44 se muestra el acondicionamiento del sensor RGB al prototipo.



Figura 44: Acondicionamiento del sensor RGB

Fuente: Elaboración propia

Para mejorar la toma de medidas del sensor y obtener una lectura más precisa de cada color, se fabricó una pieza de plástico en una impresora 3D, el cual se encargará de separar los fotodiodos de los leds emisores de luz. Esto como resultado, generó que el error al momento de hacer las pruebas en las botellas de colores sea casi nulo y se aprecia en la figura 45.

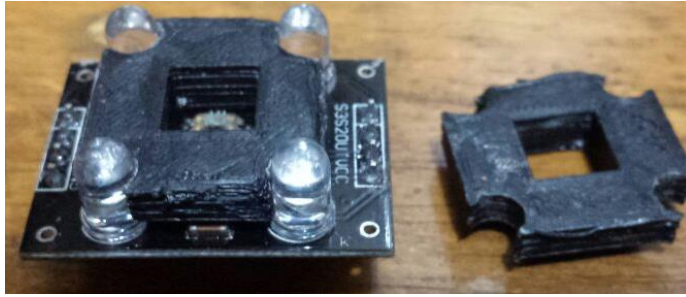


Figura 45: Aislamiento de fotodiodos y leds del sensor

Fuente: Elaboración propia

3.6. Instalación de los actuadores

Para implementar los actuadores en el prototipo, se consideró la longitud de la faja y la distancia de separación entre cada uno de ellos.

Cada actuador está separado aproximadamente 25cm uno del otro y posicionados en zigzag para que las botellas tengan espacio suficiente para caer al contenedor al momento de ser empujadas por los actuadores.

Luego de ubicar los cuatro actuadores, se le colocó una plataforma vertical en la parte de contacto entre la botella y el actuador. Esto permitió que el área de contacto, al empujar la botella, sea mucho mayor, distribuyendo la fuerza de impulso en toda el área de contacto con la botella. Tal como se muestra en la figura 46, se ve el actuador con la plataforma vertical, apoyado en una base de madera instalada en paralelo a la plancha de acero.



Figura 46: Integración de los actuares

Fuente: Elaboración propia

3.7. Acondicionamiento de los sensores fotoeléctricos

Estos cuatro sensores fotoeléctricos, cada uno unido a cada actuador, su función fue detectar el objeto para poder enviar la señal al actuador y así comenzar el proceso de clasificación.

Estos sensores fueron integrados encima de los actuadores, teniendo la altura suficiente para la detección de las botellas, como se muestra en la figura 47, su señal infrarroja no fue obstruida por la plataforma vertical del actuador, ya que se hizo una pequeña ventana para que la señal pase libremente y no haya error al momento de detección de los objetos.



Figura 47: Acondicionamiento del sensor fotoeléctrico

Fuente: Elaboración propia

3.8. Armado del prototipo

La implementación del prototipo en su totalidad, abarco un rango de 5 a 7 días, empezando con la estructura, siguiendo con los sensores RGB, los actuadores y finalmente los sensores fotoeléctricos.

Esté proceso tuvo muchas modificaciones en el proceso de armado, tomando en consideración cada sistema implementado y su función a realizar, desde la ubicación de los sensores hasta los actuadores.

La figura 46 muestra el prototipo implementado en su totalidad.

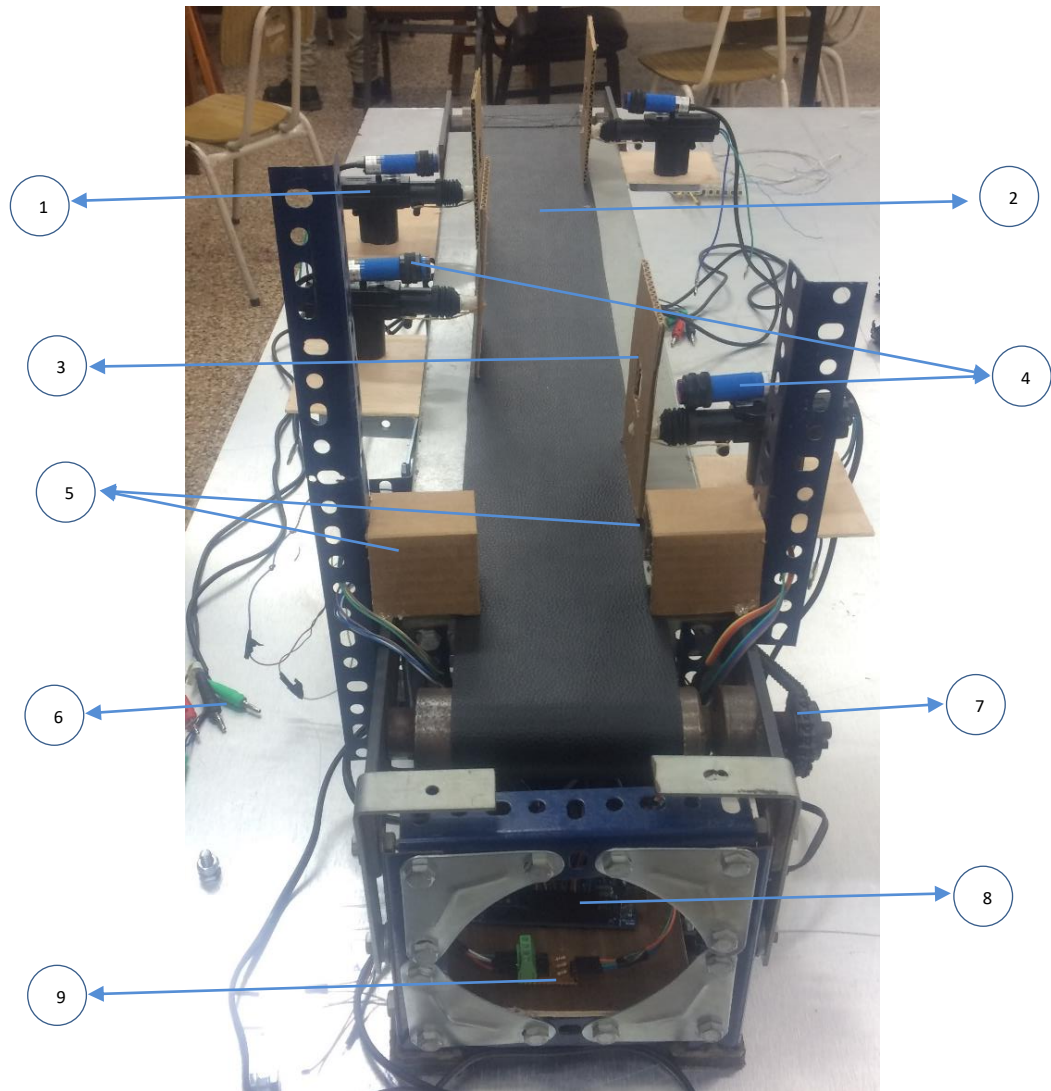


Figura 48: Estructura finalizada

Fuente: Elaboración propia

Descripción:

1. Actuator universal
2. Faja transportadora
3. Plataforma de impulso
4. Sensores fotoeléctricos
5. Sensores RGB
6. Cables de conexión a PLC
7. Cadena
8. Interfaz Arduino
9. Circuito amplificador

3.9. Programación de secuencias

En el siguiente diagrama de flujo mostrado en la figura 49 de la siguiente página, se explica la lógica de programación del proceso para el PLC. El proceso inicia con el uso del sensor RGB TCS230 al inicio de la faja transportadora; se utiliza un condicional que indica cuando el sensor no detecta botella alguna o detecta una botella que no cumple con el color deseado este no active ninguna secuencia. Cuando el sensor RGB detecta un color configurado (blanco, azul, transparente o verde), este inicia su proceso; dependiendo del color detectado, se envía una secuencia de pulsos. Siendo el color blanco la secuencia 0-0-0, azul la secuencia 0-1-0, transparente 1-0-0 y verde 1-1-0. El PLC al detectar la configuración de pulsos, esperará la señal del sensor óptico para enviar el pulso de activación al actuador correspondiente. Si el sensor óptico no detecta la presencia del objeto, entonces el PLC no enviará ningún pulso al actuador.

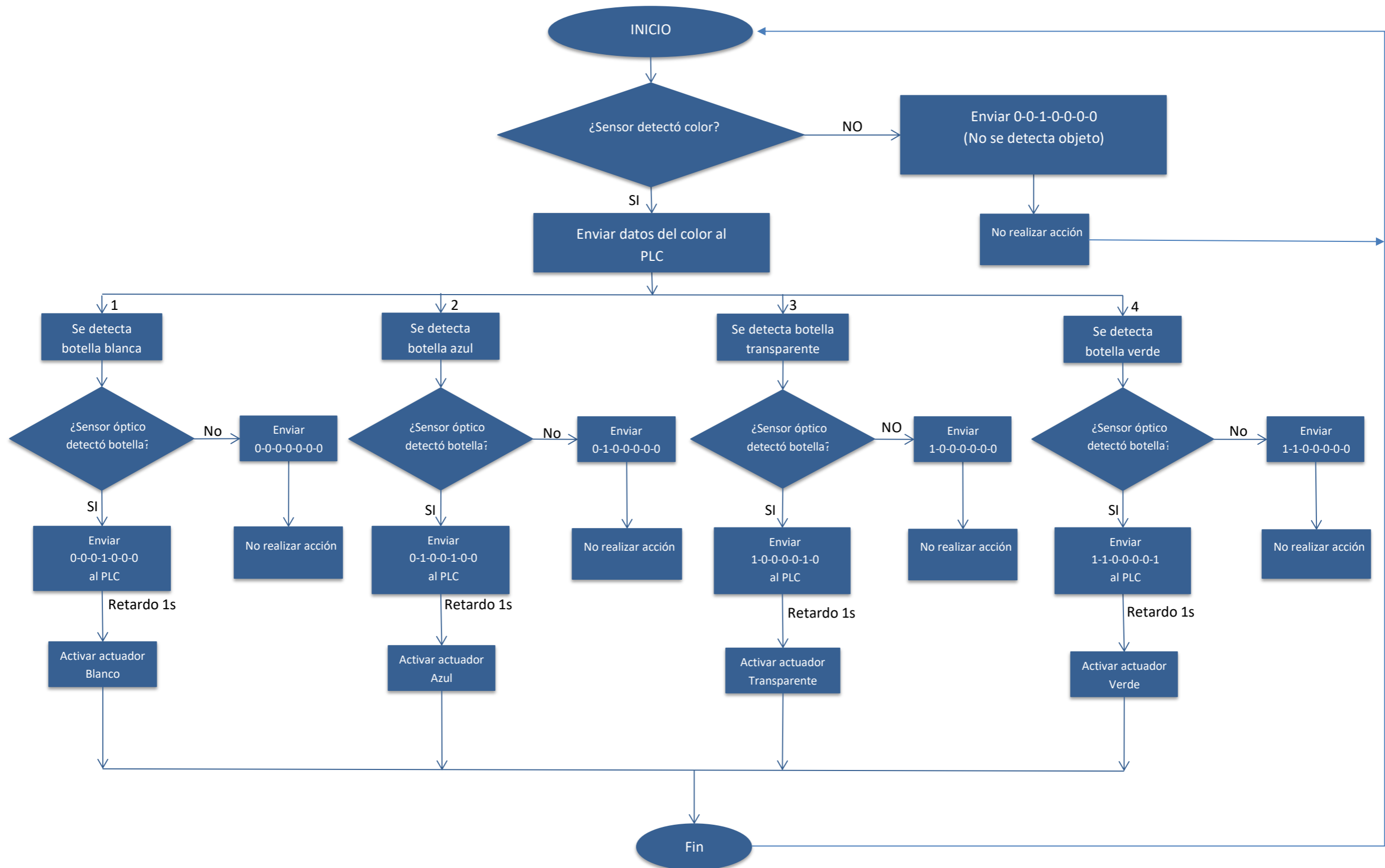


Figura 49: Diagrama de Flujo de la Lógica para la Programación del PLC S7-1200

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR RGB Y PROGRAMACIÓN EN EL PLC S7-1200

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos mediante el conteo de las botellas por color, así como el diseño eléctrico y programación del prototipo con los diferentes colores.

4.1. Interpretación de la señal RGB

Para la interpretación de la señal enviada por los sensores RGB, fue necesario usar una interfaz para convertir la señal obtenida de cada color y así poder convertirla en voltaje de salida, este caso, se usó un Arduino Mega2560. La interpretación se muestra en la figura 50.

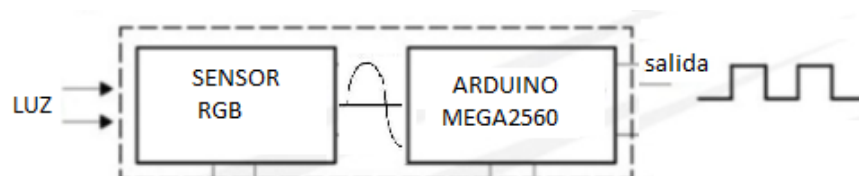


Figura 50: Interpretación de señal frecuencia-pulso

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Conexión de los sensores RGB

La conexión entre los sensores RGB y Arduino se dieron en las salidas y entradas digitales del mismo, como se aprecia en la figura 51. Se utilizó las entradas digitales del Arduino MEGA2560 desde la entrada 2 hasta la 10 y se usó como salida de la señal los pines 11,12 y A0.

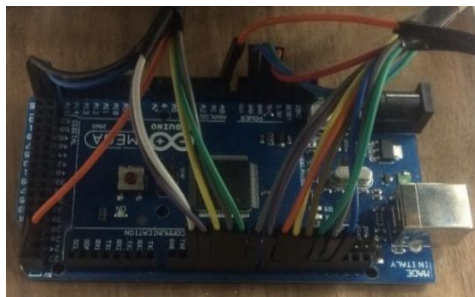


Figura 51: Conexión en la interfaz

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Comunicación RGB-Arduino

La interpretación que hace el Arduino con respecto a las salidas del sensor RGB es la frecuencia que emite el sensor al detectar un color específico. Cada color detectado por los fotodiodos del sensor es interpretado por un rango que oscila entre 0 y 1200, estos fotodiodos son R (rojo), G (verde), B (azul) y Clear. El Arduino al detectar el rango de frecuencia, lo convierte en una señal digital, la cual se programa para los outputs 12,13 y A0 del Arduino.

En nuestro caso, se modificó para que nuestro programa no detecte el rojo, sino el blanco en su lugar.

El pulso establecido para cada output es amplificado para que el PLC interprete y ejecute el control. En la figura 52 y 53 se muestra los rangos específicos que se programaron para cada uno de los cuatro colores usados en el prototipo para un óptimo resultado y hacer el margen de error casi nulo.



```
TCS3200_SALIDA_DIGITAL
// SENSOR

if (295 > blanco && blanco > 230)
{
  Serial.println("  Blanco");
  digitalWrite(12,0);
  digitalWrite(13,0);
  digitalWrite(A0,0);
  delay(7000);
}
else if ((1120 > azul && azul > 850) or (700 > azul && azul >
{
  Serial.println("  Azul");
  digitalWrite(12,0);
  digitalWrite(13,1);
  digitalWrite(A0,0);
  delay(15000);
}
```

Figura 52: Rango establecido para los colores “Blanco” y “Azul”.

Fuente: Elaboración propia

```

TCS3200_SALIDA_DIGITAL

else if (50 > transparente && transparente > 35)
{
  Serial.println("  Transparente");
  digitalWrite(12,1);
  digitalWrite(13,0);
  digitalWrite(A0,0);
  delay(21000);
}
else if ((1190 > verde && verde > 940) or (270 > verde && verde
{
  Serial.println("  Verde");
  digitalWrite(12,1);
  digitalWrite(13,1);
  digitalWrite(A0,0);
  delay(25000);
}
else{
  Serial.println("  No se detecta objeto ");
  digitalWrite(12,0);
  digitalWrite(13,0);
  digitalWrite(A0,1);
}
delay(400);
}

```

Figura 53: Rangos establecidos para los colores “Transparente”, “Verde” y “No se detecta objeto”.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Programación de las salidas

Las salidas usadas por la interfaz para poder enviar los pulsos son los outputs 12,13 y A0 del Arduino, los cuales se configuraron en la programación de acuerdo con el color detectado. Se usaron solo 3 salidas digitales ya que se usó 4 variables: 000(Blanco), 010(Azul), 100(Transparente), 110(Verde) y 001(No se detecta). En la tabla 9 se muestra la configuración de los outputs de la interfaz.

Tabla 9: Configuración de los pulsos.

OUTPUT			VARIABLE
12	13	A0	
0	0	0	BLANCO
0	1	0	AZUL
1	0	0	TRANSPARENTE
1	1	0	VERDE
0	0	1	NO SE DETECTA

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Amplificador de señal

Para poder establecer una correcta comunicación entre los inputs y lo outputs del PLC y el Arduino respectivamente, fue necesario usar un circuito amplificador de voltaje, ya que por defecto los outputs de la interfaz usada trabajan con pulsos de 5V, y lo requerido por el PLC para detectar un pulso digital es 24V.

Por tal motivo se implementó un circuito con 3 optoacopladores para los 3 outputs del Arduino, los cuales permitió amplificar el voltaje de 5V a 24V usando la fuente de alimentación del PLC.

Al realizar esta conexión se pudo generar el voltaje requerido para que los inputs del PLC detecten los pulsos generado por el Arduino al momento de detectar un color determinado por los sensores RGB. El diseño digital del sistema de optoacopladores se muestra en la figura 54.

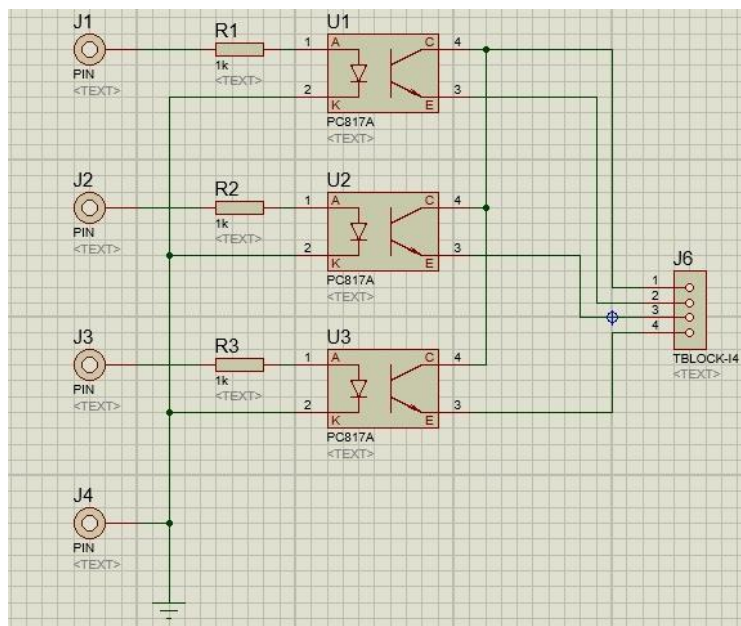


Figura 54: Diseño en Proteus del circuito amplificador

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber hecho el diseño del circuito, se procedió con el diseño de la placa que se muestra en la figura 55.

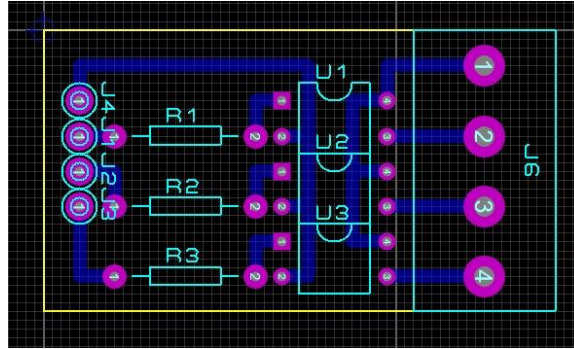


Figura 55: Diseño de la placa del amplificador.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procedió con la implementación del circuito físicamente, como se aprecia en la figura 56.

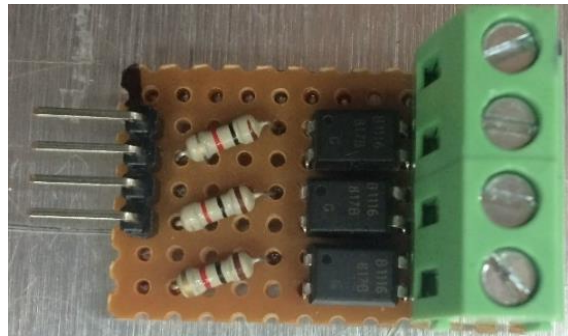


Figura 56: Circuito amplificador.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la conexión entre el Arduino y el circuito amplificador en la figura 57.

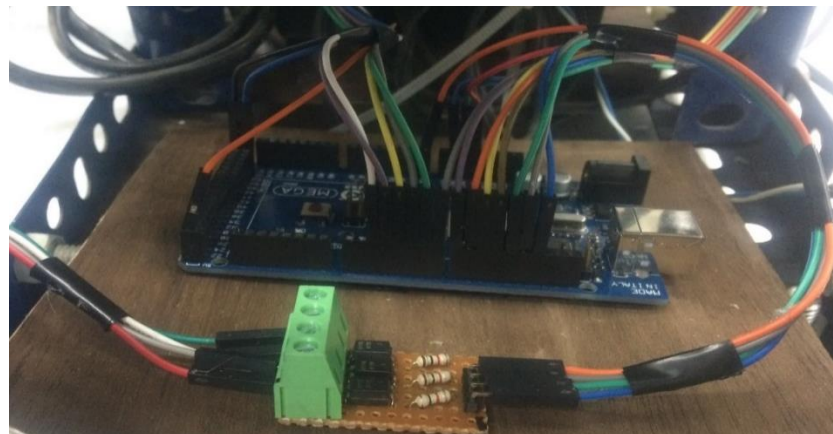


Figura 57: Conexión Interfaz-Amplificador

Fuente: Elaboración propia

4.2. Determinación de entradas y salidas a usar

4.2.1. Entradas del PLC

Para poder hacer uso y manejo del PLC se usó 7 entradas digital, 3 entradas que vienen del circuito amplificador y las otras 4 entradas provienen de los sensores fotoeléctricos.

Las entradas del PLC trabajan con 24 voltios, por tal motivo se usó un circuito amplificador para las 3 primeras entradas que provienen de la interpretación del Arduino, sus salidas digitales son de 5 voltios, las cuales se amplifican a 24V para los inputs del PLC.

Las entradas usadas en el PLC son las siguientes:

Del circuito amplificador al PLC:

- I0.0 (0/1)
- I0.1 (0/1)
- I0.2 (0/1)

Su interpretación para cada color se muestra en tabla 10.

Tabla 10: Interpretación de los pulsos por color

INPUT I0.0	INPUT I0.1	INPUT I0.2	COLOR
0	0	0	BLANCO
0	1	0	AZUL
1	0	0	TRANSPARENTE
1	1	0	VERDE
0	0	1	NO SE DETECTA

Fuente: Elaboración propia

De los sensores fotoeléctricos:

- I0.3 (detecta presencia de objeto blanco)
- I0.4 (detecta presencia de objeto azul)
- I0.5 (detecta presencia de objeto transparente)
- I0.6 (detecta presencia de objeto verde)

Su interpretación para cada color se muestra en la tabla 11.

Tabla 11: Interpretación de los inputs fotoeléctricos.

INPUT I0.3	INPUT I0.4	INPUT I0.5	INPUT I0.6	COLOR
1	0	0	0	BLANCO
0	1	0	0	AZUL
0	0	1	0	TRANSPARENTE
0	0	0	1	VERDE
0	0	0	0	NO SE DETECTA

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Salidas del PLC

Las salidas de este modelo de PLC S7-1200, por su arquitectura AC/DC/RLY (Fuente de alimentación/Entradas/Salidas), son de tipo RELAY, cierran contacto al activar un output.

En el prototipo se usaron 4 Outputs tipo relay, se tuvo que crear una condición de acuerdo con los inputs para enviar un pulso a los outputs del PLC: Q0.0, Q0.1, Q0.2, Q0.3.

Input Sensor RGB + Input Sensor Óptico = Output PLC

En la tabla 12 se muestra las condiciones para que se activen los outputs mencionados.

Tabla 12: Condiciones para activación de outputs.

INPUTS							OUTPUTS	COLOR
I0.0	I0.1	I0.2	I0.3	I0.4	I0.5	I0.6		
0	0	0	1	0	0	0	Q0.0	BLANCO
0	1	0	0	1	0	0	Q0.1	AZUL
1	0	0	0	0	1	0	Q0.2	TRANSPARENTE
1	1	0	0	0	0	1	Q0.3	VERDE
0	0	1	0	0	0	0	Q0.4	NO SE DETECTA

Fuente: Elaboración propia

4.3. Diseño del programa Ladder

Para poder armar la programación, se utilizó el programa SIMATIC STEP

7 (TIA Portal V14), el cual permitió diseñar la programación requerida de acuerdo con las condiciones creadas para el correcto funcionamiento del prototipo.

Lo primero que se hizo fue agregar las variables a usar, tanto de entrada como de salida, tal como se muestra en la figura 58.

Variables PLC					
		Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección ▲
1	🔍	Input 1	Tabla de variables e..	Bool	%I0.0
2	🔍	Input 2	Tabla de variables e..	Bool	%I0.1
3	🔍	Input 3	Tabla de variables e..	Bool	%I0.2
4	🔍	OPTICO 1	Tabla de variables e..	Bool	%I0.3
5	🔍	OPTICO 2	Tabla de variables e..	Bool	%I0.4
6	🔍	OPTICO 3	Tabla de variables e..	Bool	%I0.5
7	🔍	OPTICO 4	Tabla de variables e..	Bool	%I0.6
8	🔍	BLANCO	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.0
9	🔍	AZUL	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.1
10	🔍	TRANSPARENTE	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.2
11	🔍	VERDE	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.3
12	🔍	NO SE DETECTA	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.4
13	🔍	TEMPO1	Tabla de variables e..	Time	%MD100
14	🔍	TEMPO2	Tabla de variables e..	Time	%MD104
15	🔍	TEMPO3	Tabla de variables e..	Time	%MD108
16	🔍	TEMPO4	Tabla de variables e..	Time	%MD112

Figura 58: Variables del PLC

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber agregado las variables, se procedió con la programación en lenguaje Ladder de acuerdo con las entradas digitales vistos en la tabla 8. La programación se hizo en 3 segmentos los cuales se explican a continuación:

4.3.1. Segmento 1

Para la activación del output Q0.0 (Blanco), se agregó los inputs I0.0, I0.1, I0.2 y I0.3; adicionalmente se colocó un Timer1 el cual se encargará de accionar el actuador pasado un tiempo, en este caso, luego de 1 segundo de haber detectado el objeto. Su activación será de acuerdo con la tabla 13.

Tabla 13: Activación Q0.0

INPUTS							OUTPUTS	COLOR
I0.0	I0.1	I0.2	I0.3	I0.4	I0.5	I0.6		
0	0	0	1	0	0	0	Q0.0	BLANCO

Fuente: Elaboración propia

Para activar el output Q0.1 (Azul), luego del input I0.0, se abrió una rama y se agregó I0.1, I0.2 y I0.4; también se colocó un Timer2 para accionar el actuador luego de 1 segundo de haber detectado el objeto.

Su activación será de acuerdo con la tabla 14.

Tabla 14: Activación Q0.1

INPUTS							OUTPUTS	COLOR
I0.0	I0.1	I0.2	I0.3	I0.4	I0.5	I0.6		
0	1	0	0	1	0	0	Q0.1	AZUL

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las condiciones creadas, se genera la siguiente programación en Ladder que se parecía en la figura 59.

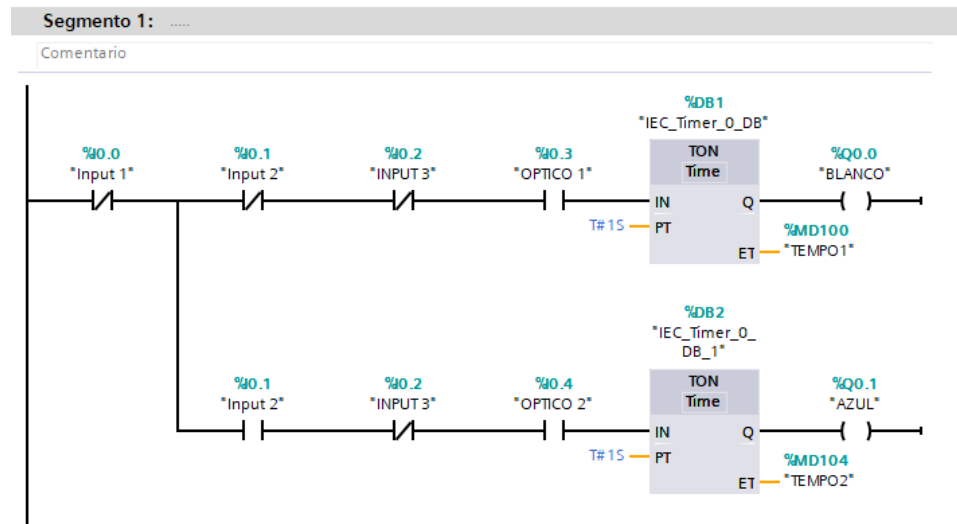


Figura 59: Programación Segmento 1

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Segmento 2

Para activar el output Q0.2 (Transparente), se agregó los inputs

I0.0, I0.1, I0.2 y I0.5, un Timer3 que activará el actuador luego de 1 segundo de haber detectar el objeto.

Su activación será de acuerdo con la tabla 15.

Tabla 15: Activación Q0.2

INPUTS							OUTPUTS	COLOR
I0.0	I0.1	I0.2	I0.3	I0.4	I0.5	I0.6		
1	0	0	0	0	1	0	Q0.2	TRANSPARENTE

Fuente: Elaboración propia

Para activar el output Q0.3 (Verde), luego del input I0.0, se abrió una rama y se agregó I0.1, I0.2 y I0.6; también se colocó un Timer4 para accionar el actuador pasado un tiempo de 1 segundo

Su activación será de acuerdo con la tabla 16.

Tabla 16: Activación Q0.3

INPUTS							OUTPUTS	COLOR
I0.0	I0.1	I0.2	I0.3	I0.4	I0.5	I0.6		
1	1	0	0	0	0	1	Q0.3	VERDE

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el programa creado en lenguaje Ladder para el segmento 2 en la figura 60.

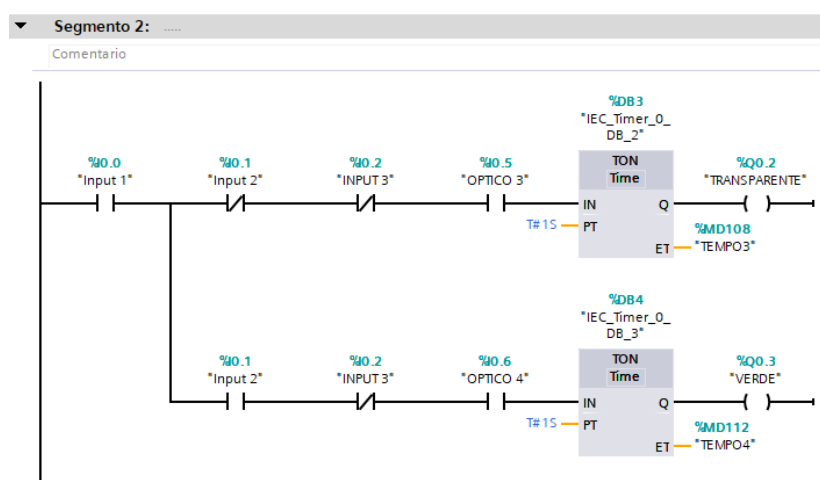


Figura 60: Programación Segmento 2

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Segmento 3

Este segmento se usó para que el PLC mande una señal cuando no se detecte ningún objeto, solo se usó los Inputs 0.0, 0.1, 0.2 para mandar la señal de “NO SE DETECTA” al output Q0.4, ya que los sensores fotoeléctricos no se activarán al no detectar objeto alguno. Su activación será de acuerdo con la tabla 17.

Tabla 17: Activación Q0.4

INPUTS							OUTPUTS	COLOR
I0.0	I0.1	I0.2	I0.3	I0.4	I0.5	I0.6		
0	0	1	0	0	0	0	Q0.4	NO SE DETECTA

Fuente: Elaboración propia

Su programación en Ladder será la siguiente, mostrada en la figura 61.

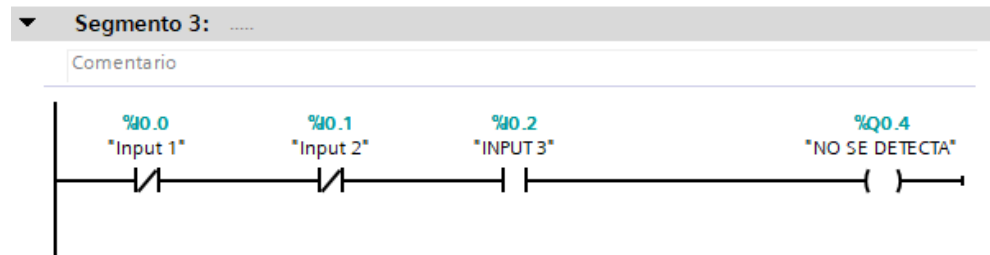


Figura 61: Programación Segmento 3

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Prueba piloto en el PLC S7-1200

5.1.1. Simulación virtual

Para realizar las primeras pruebas y comprobar el correcto funcionamiento de la programación, se utilizó el programa S7-PLCSIM V14, el cual permite simular la programación como si el PLC estuviera conectado físicamente.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación realizada, obteniendo los resultados deseados:

Segmento 1.1: Activación del actuador mediante el output Q0.0, simulando los pulsos 0001000 enviándolos a los inputs del PLC, que se muestra en la figura 62.

Nombre	Dirección	Formato de visua...	Observar/forzar valor	Bits	Forzar cohere...
Input 1:P	%I0.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
Input 2:P	%I0.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
Input 3:P	%I0.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
OPTICO 1:P	%I0.3:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
OPTICO 2:P	%I0.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
OPTICO 3:P	%I0.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
OPTICO 4:P	%I0.6:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 62: Activación Output Q0.0 (Blanco)

Fuente: Elaboración propia

Segmento 1.2: Activación del actuador mediante el output Q0.1, simulando los pulsos 0100100 enviándolos a los inputs del PLC, que se muestra en la figura 63.

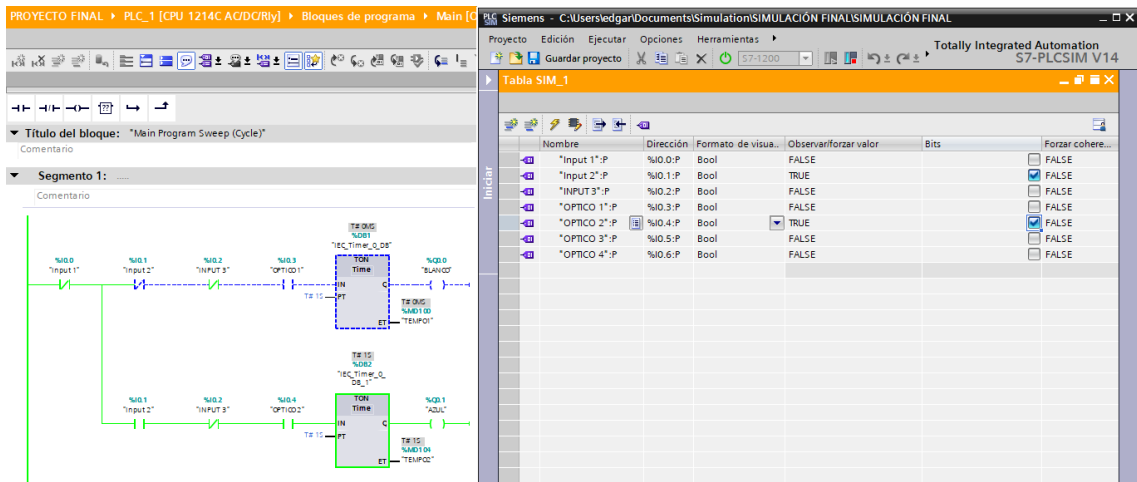


Figura 63: Activación Output Q0.1 (Azul).

Fuente: Elaboración propia.

Segmento 2.1: Activación del actuador mediante el output Q0.2, simulando los pulsos 1000010 enviándolos a los inputs del PLC, que se aprecia en la figura 64.

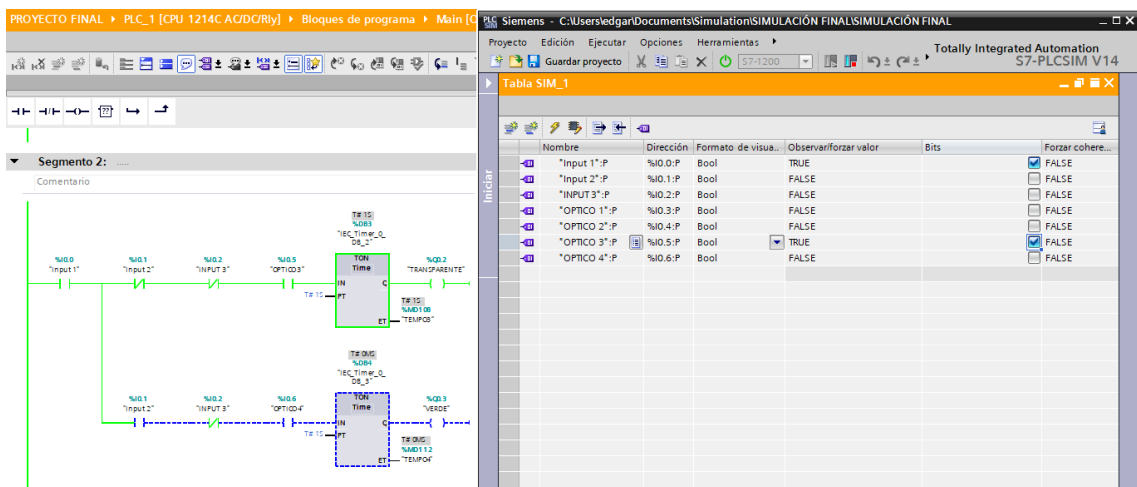


Figura 64: Activación Output Q0.2 (Transparente)

Fuente: Elaboración propia

Segmento 2.2: Activación del actuador mediante el output Q0.3, simulando los pulsos 1100001 enviándolos a los inputs del PLC, que se parecía en la figura 65.

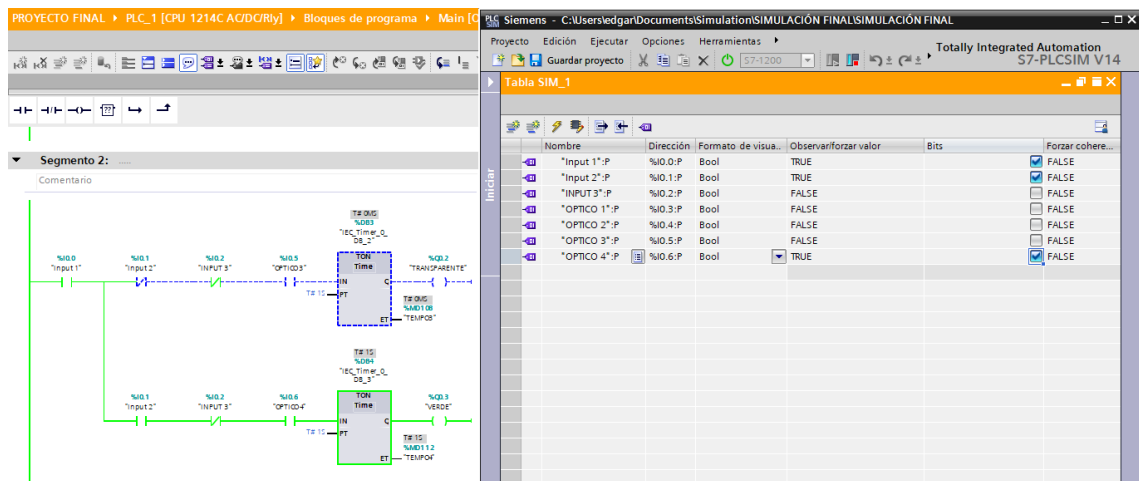


Figura 65: Activación Output Q0.3 (Verde)

Fuente: Elaboración propia

Segmento 3: Activación del output Q0.4, simulando los pulsos 0010000 enviándolos a los inputs del PLC, que se aprecia en la figura 66.

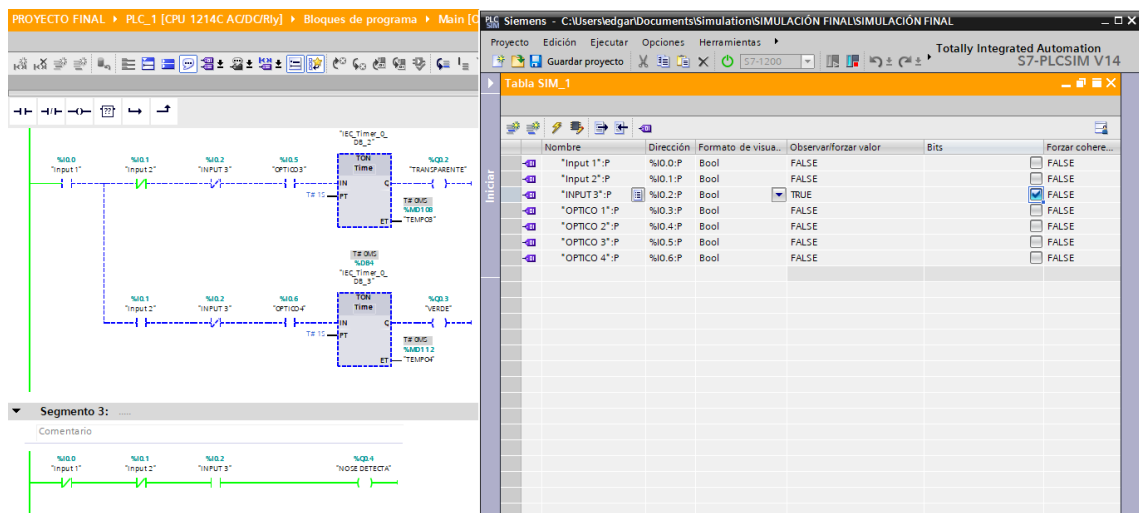


Figura 66: Activación Output Q0.4 (No se detecta)

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Simulación con un generador de pulsos

La segunda prueba que se realizó fue con el PLC físico y usando pulsos de 24V hacia lo inputs, para simular los pulsos que se genera al detectar cada color, estos pulsos fueron generados de la misma fuente de alimentación del PLC, como la figura 67.



Figura 67: Generador de pulsos

Fuente: Elaboración propia

Para poder realizar estas pruebas, se conectó el PLC a la computadora por medio de un cable Ethernet para poder hacer la configuración del IP con el que se envió y sincronizó la programación en Ladder.

Luego de haber cargado la programación y sincronizado la computadora con el PLC se obtuvieron los resultados deseados:

Segmento 1.1: Activación del output Q0.0 alimentando con 24V los inputs 0001000, se muestra en la figura 68 y 69 la siguiente sincronización del PLC y la computadora.

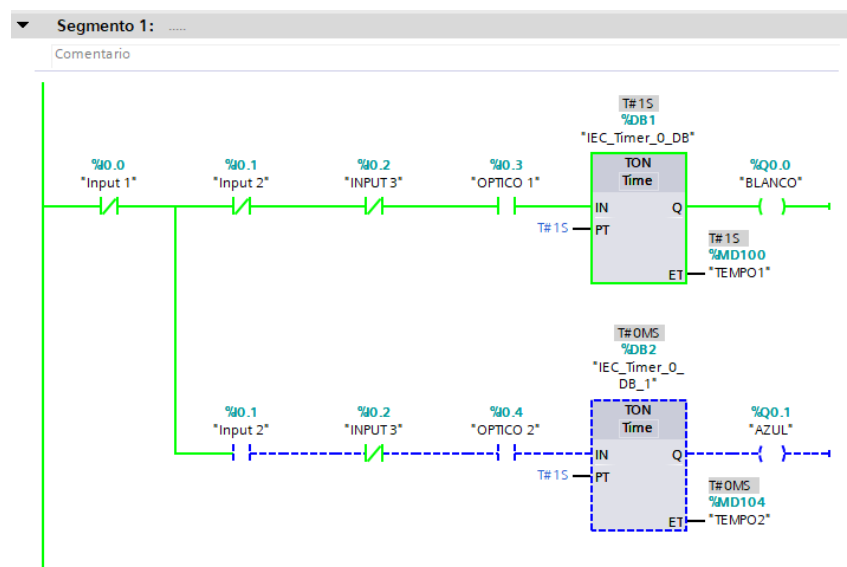


Figura 68: Activación Q0.0

Fuente: Elaboración propia



Figura 69: Respuesta del PLC para Q0.0

Fuente: Elaboración propia

Segmente 1.2: Activación del output Q0.1 alimentando con 24V los inputs 0100100, se muestra la figura 70 y 71 la siguiente sincronización del PLC y la computadora.

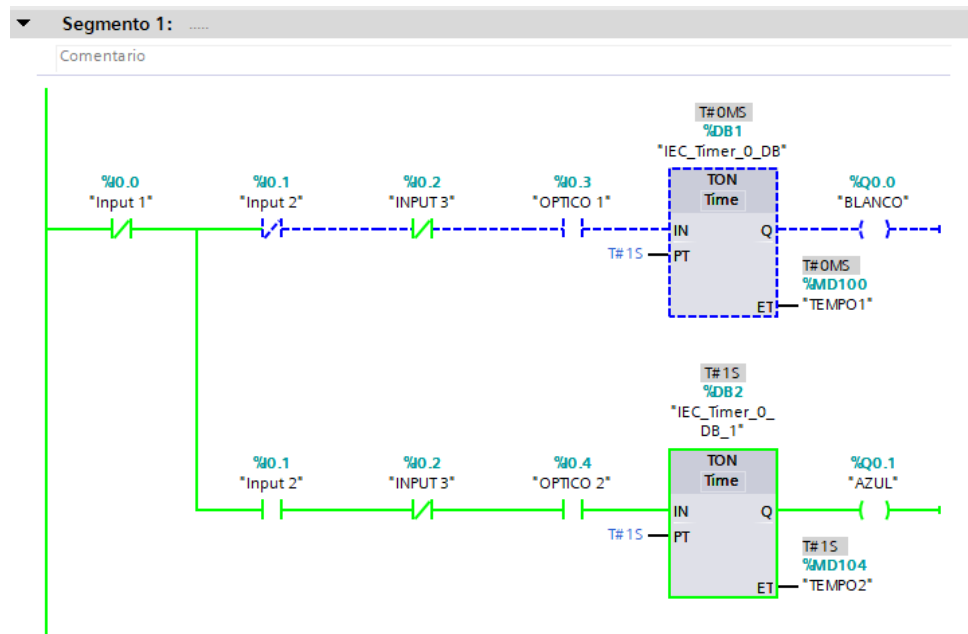


Figura 70: Activación Q0.1

Fuente: Elaboración propia



Figura 71: Respuesta del PLC para Q0.1

Fuente: Elaboración propia

Segmento 2.1: Activación del output Q0.2 alimentando con 24V los inputs 1000010, se muestra la figura 72 y 73 la siguiente sincronización del PLC y la computadora.

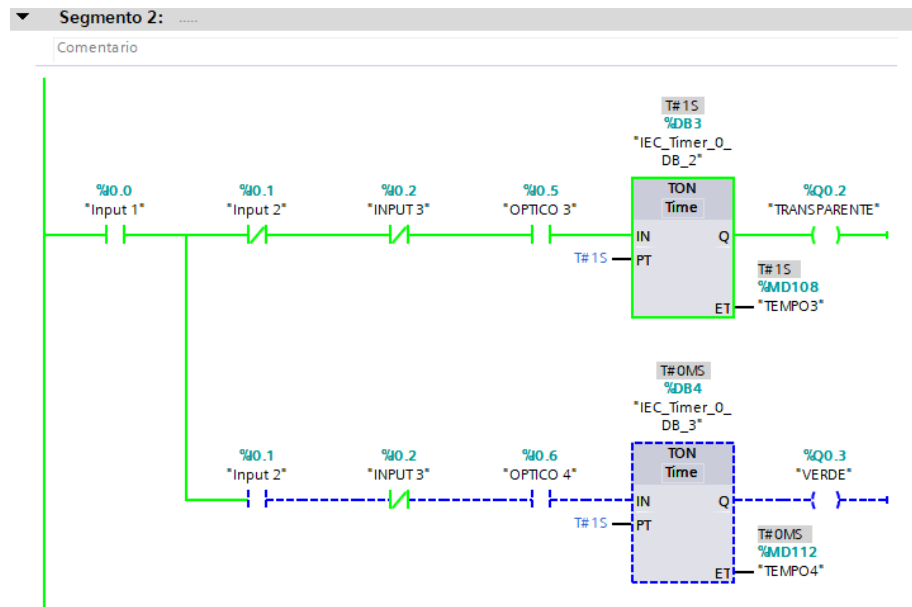


Figura 72: Activación Q0.2

Fuente: Elaboración propia



Figura 73: Respuesta del PLC para Q0.2

Fuente: Elaboración propia

Segmente 2.2: Activación del output Q0.3 alimentando con 24V los inputs 1100001, se muestra la figura 74 y 75 la siguiente sincronización del PLC y la computadora:

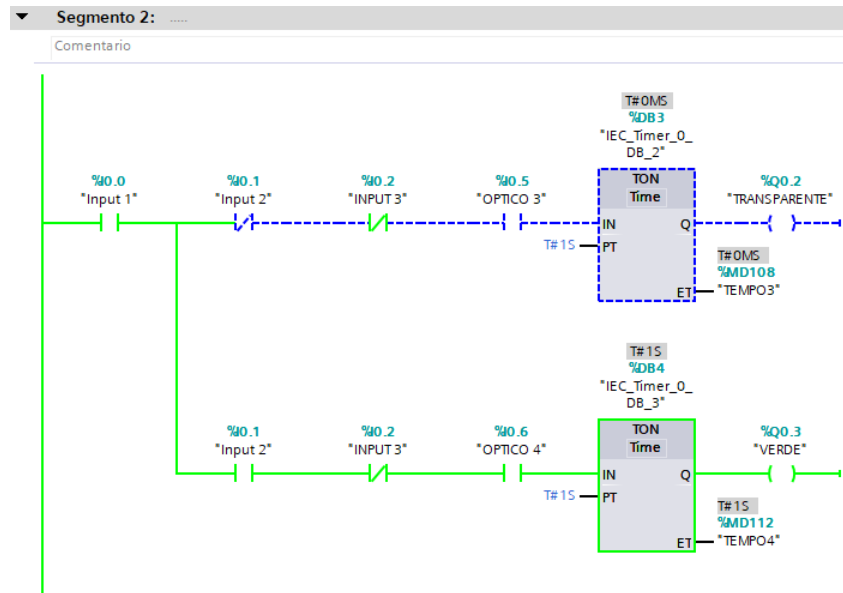


Figura 74: Activación Q0.3

Fuente: Elaboración propia



Figura 75: Respuesta del PLC para Q0.3

Fuente: Elaboración propia

Segmente 3: Activación del output Q0.4 alimentando con 24V los inputs 0010000, se muestra la figura 76 y 77 la siguiente sincronización del PLC y la computadora:

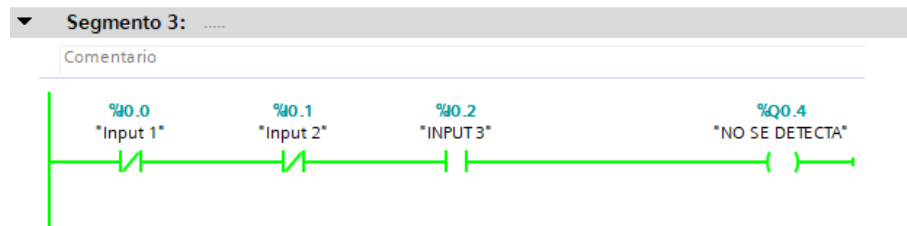


Figura 76: Activación Q0.4

Fuente: Elaboración propia



Figura 77: Respuesta del PLC para Q0.4

Fuente: Elaboración propia

5.2. Pruebas con el prototipo

Finalmente se realizaron las pruebas con los actuadores conectados a los outputs del PLC, con lo cual se hicieron pruebas de accionamiento con el mismo método de generación de pulsos vistos en el capítulo 4.1.

5.2.1. Actuador Q0.0(Blanco)

Este actuador se encargará de seleccionar las botellas de color blanco empujándolas hacia un contenedor, su accionamiento depende del rango de frecuencia detectado por el sensor RGB y de la detección del objeto mediante el sensor fotoeléctrico.

En la figura 78 se muestra la activación del actuador al cerrar contacto el relay Q0.0:

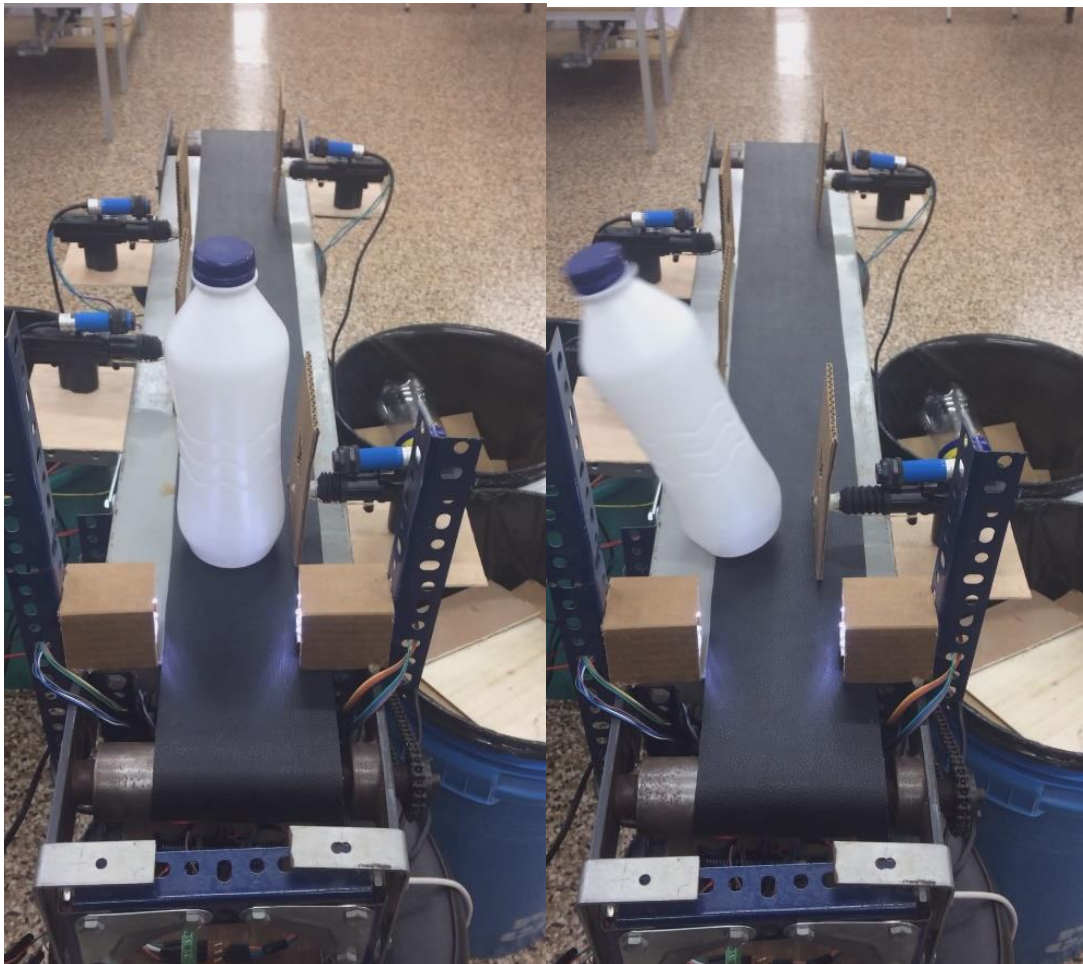


Figura 78: Accionamiento del actuador “Blanco”

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Actuador Q0.1(Azul)

Este actuador se encargará de seleccionar las botellas de color azul empujándolas hacia un contenedor, su accionamiento depende del rango de frecuencia detectado por el sensor RGB y de la detección del objeto mediante el sensor fotoeléctrico.

En la figura 79 se muestra la activación del actuador al cerrar contacto el relay Q0.1:

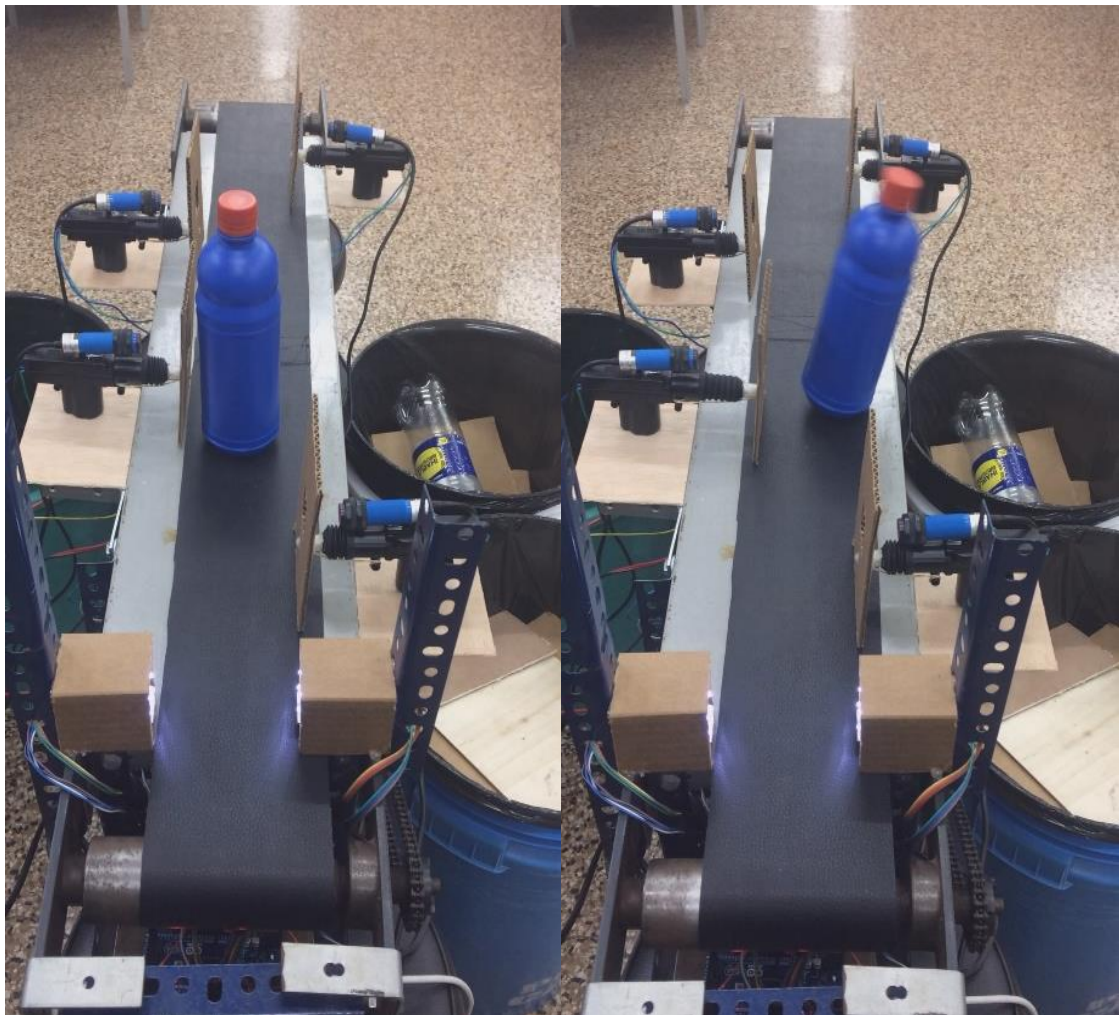


Figura 79: Accionamiento del actuador “Azul”

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Actuador Q0.3(Transparente)

Este actuador se encargará de seleccionar las botellas de color transparente empujándolas hacia un contenedor, su accionamiento depende del rango de frecuencia detectado por el sensor RGB y de

la detección del objeto mediante el sensor fotoeléctrico.

En la figura 80 se muestra la activación del actuador al cerrar contacto el relay Q0.2:

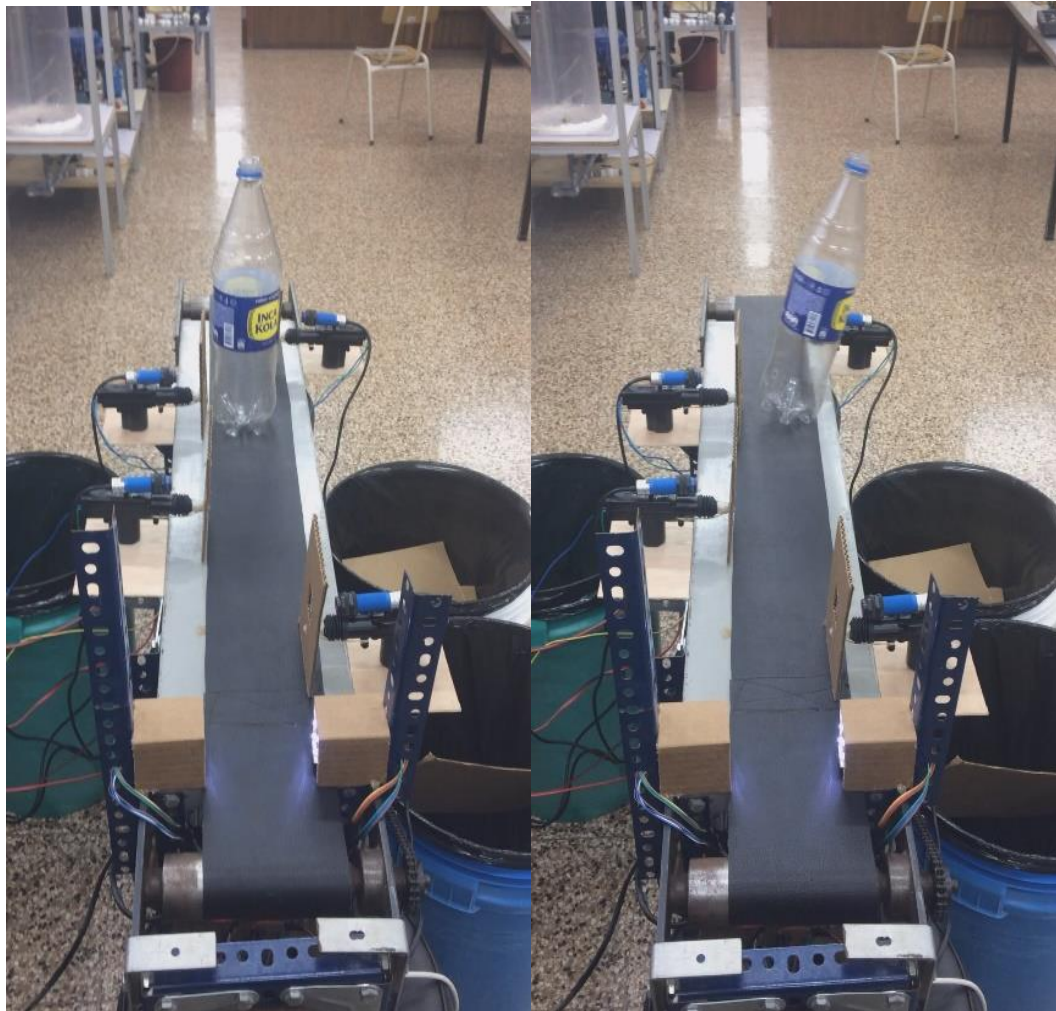


Figura 80: Accionamiento del actuador “Transparente”

Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Actuador Q0.4(Verde)

Este actuador se encargará de seleccionar las botellas de color verde empujándolas hacia un contenedor, su accionamiento depende del rango de frecuencia detectado por el sensor RGB y de la detección del objeto mediante el sensor fotoeléctrico.

En la figura 81 se muestra la activación del actuador al cerrar contacto el relay Q0.3:

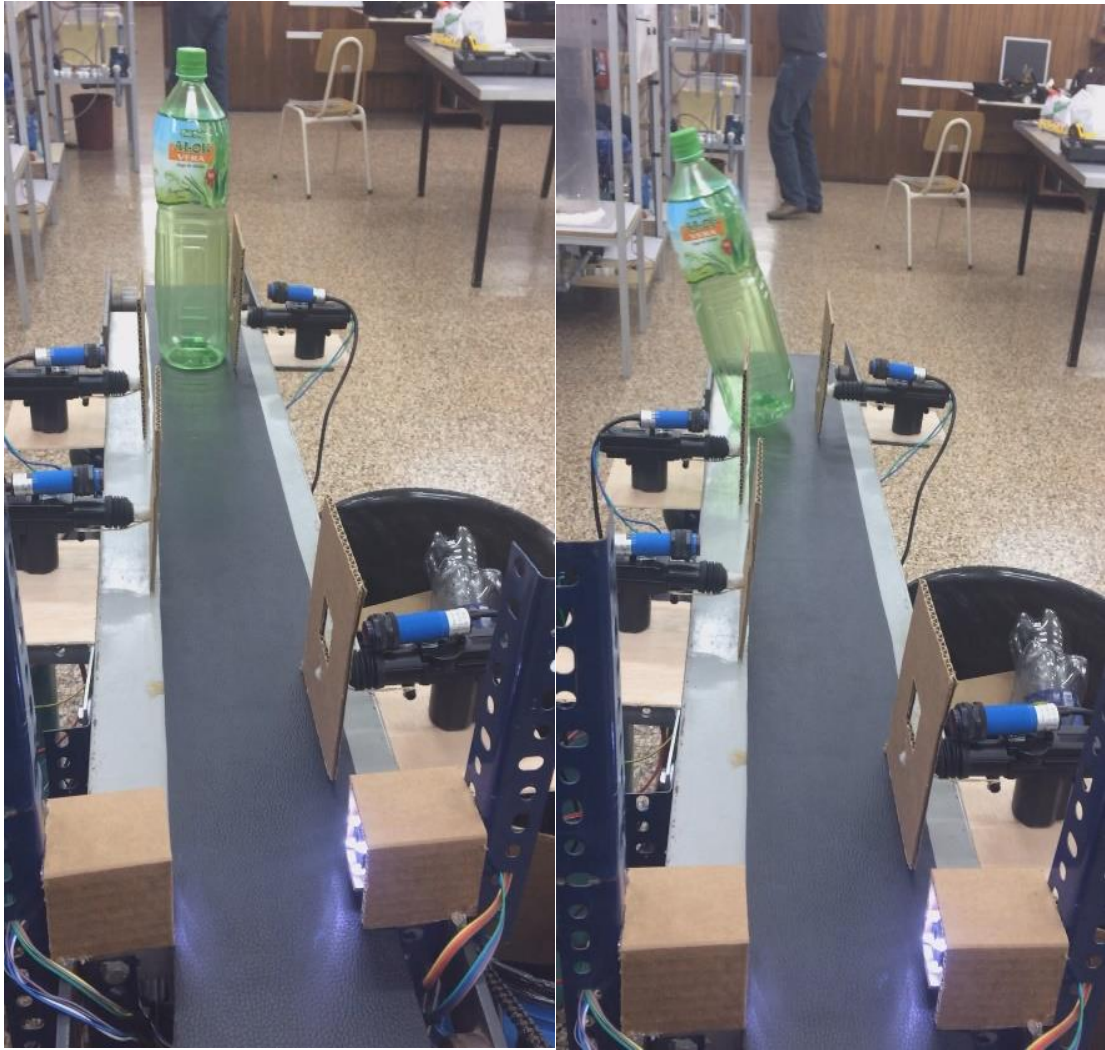


Figura 81: Accionamiento del actuador “Verde”

Fuente: Elaboración propia

5.3. Pruebas con la integración total del prototipo

Las siguientes pruebas se realizaron integrando todos sus componentes, usando simultáneamente estructura, sensores, interfaz y PLC.

Las pruebas de la faja transportadora consistieron en evaluaciones de los cuatro sensores y la sincronización de tiempo de llegada de las botellas a cada sensor, esto se llevó a cabo desde la detección del color hasta la llegada a su respectivo actuador.

La primera prueba realizada fue la sincronización de tiempos entre sensor y actuador, en donde se corrigió el tiempo estimado de llegada de las botellas a cada actuador, debido a que el tiempo es diferente por la distancia de separación de los mismos. Se muestra la separación de los

actuadores en la figura 82.



Figura 82: Toma de tiempos

Fuente: Elaboración propia

La siguiente prueba fue la detección del sensor óptico, en donde se observó que la reacción del sensor se anticipa a la llegada de la botella, es decir, dada la sensibilidad del sensor óptico, al detectar el borde de la botella, manda la señal al actuador para que la empuje inmediatamente al contenedor.

Lo óptimo sería que el actuador reacciones cuando la botella esté al centro de la plataforma de empuje. Por tal motivo se configuró un tiempo de retraso para el accionamiento del actuador, así, la botella al pasar por el sensor óptico detecte el objeto y mandar la señal de accionamiento con 1 segundo de retraso. Para hacer esto posible, se usó la función TIMER tipo TON (Timer ON) en la programación del PLC, la cual retarda la activación de la salida Q. En la figura 83 se muestra el sensor óptico activado y el retraso utilizado en la programación del PLC.

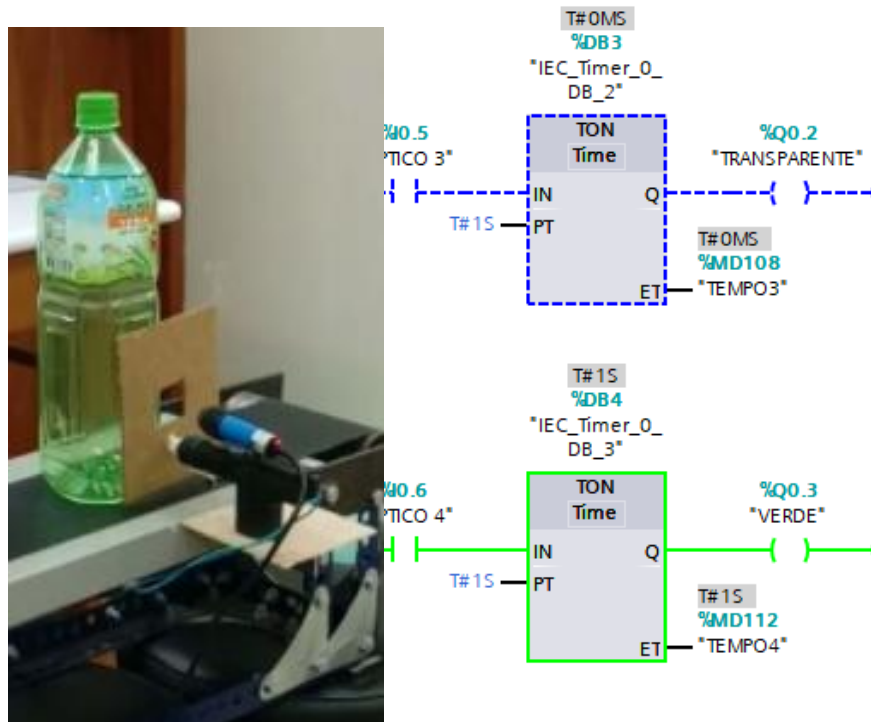


Figura 83: Detección del sensor óptico y retardo utilizado en el programa TIA PORTAL
 Fuente: Elaboración propia

Una tercera prueba fue verificar el fin de carrera de los actuadores, en donde se observó que la botella se tiene que encontrar muy próximo al actuador para que este empuje con la fuerza suficiente para hacer caer la botella, además de que se tiene que alimentar el actuador con el voltaje y corriente adecuada para activarse de forma óptima, lo cual se puede observar en la figura 84.



Figura 84: Final de carrera
 Fuente: Elaboración propia

La última prueba realizada fue el funcionamiento total del prototipo, el cual consiste desde la detección del color hasta su despacho por el actuador al contenedor como se aprecia en la figura 85.

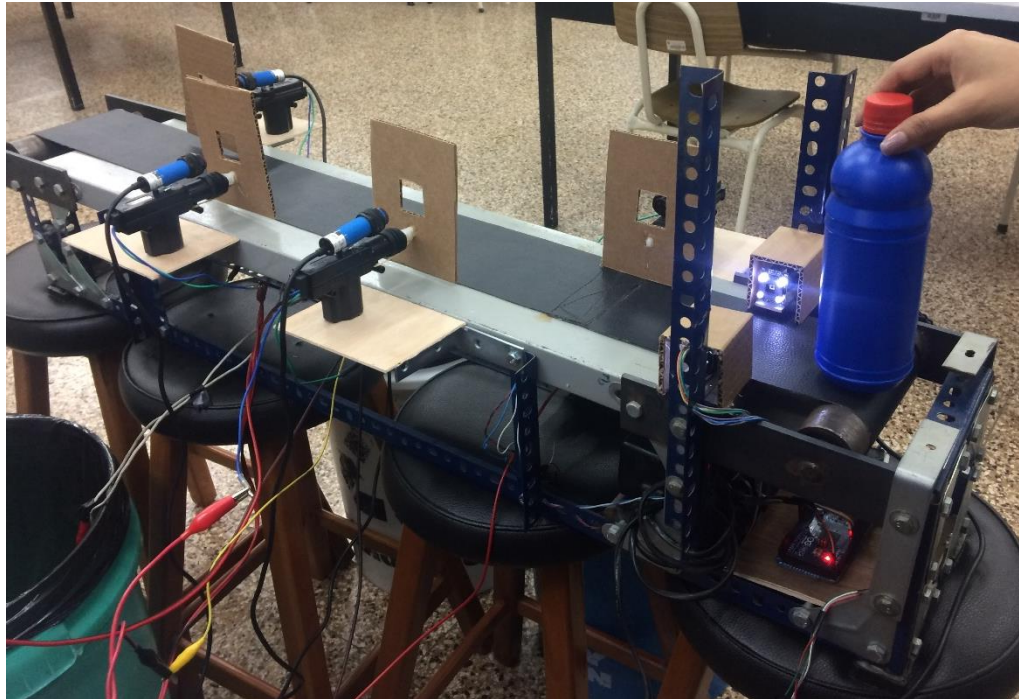


Figura 85: Detección del sensor y accionamiento del actuador

Fuente: Elaboración propia

En la figura 86 se muestra el funcionamiento con el primer actuador al cual corresponde el color blanco.

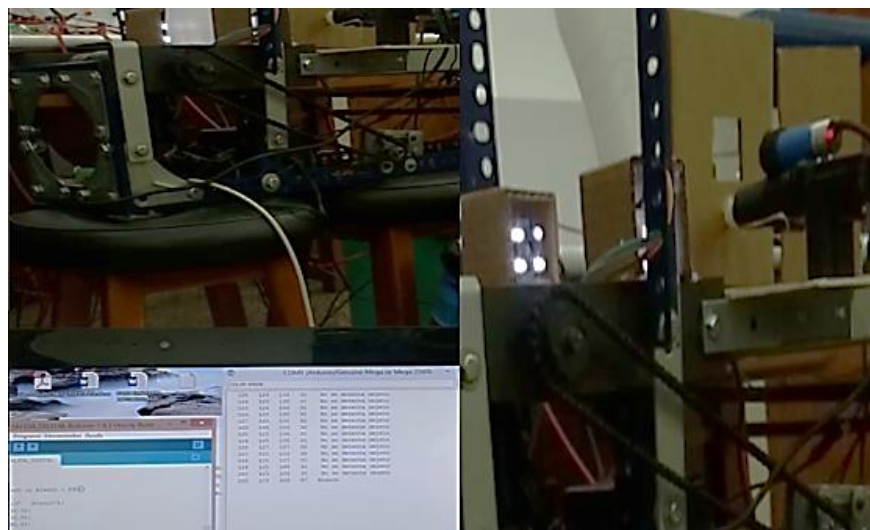


Figura 86: Detección del sensor y accionamiento del actuador con el color blanco

Fuente: Elaboración propia

En el caso del cuarto actuador, que se acciona si la botella detectada es verde, como se aprecia en la figura 89.



Figura 89: Detección del sensor y accionamiento del actuador con el color verde

Fuente: Elaboración propia

5.4. Resultados obtenidos

Se realizó varias pruebas en el sensor RGB TCS230 dando un resultado satisfactorio en la detección de botellas de plástico por color, en la tabla 18 se aprecia el tipo de botella que se utilizó, así como el margen de error que se obtuvo.

Tabla 18: Porcentajes de resultados

COLOR DE BOTELLA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ACIERTOS	FALLOS	% ERROR	% ACIERTO
BLANCO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10	0	0%	100%
AZUL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10	0	0%	100%
AZUL TRANSPARENTE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	9	1	10%	90%
TRANSPARENTE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10	0	0%	100%
VERDE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10	0	0%	100%
VERDE TRANSPARENTE	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	8	2	20%	80%
ROJO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	10	100%	0%

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se aprecia que el sensor actúa de forma óptima, aun con cierto error en los colores azul transparente y verde transparente, debido a que la incidencia de luz de retorno hacia el sensor era inferior se

confundía con el color transparente, se utilizó un color que no estaba en el rango colores a detectar y el resultado fue que el sensor en todas las pruebas no lo reconoció.

Así mismo, el prototipo está diseñado para que desde la detección del color hasta el actuador no exista interferencias. En la figura 90 que se muestra a continuación, se aprecia el acabado final del prototipo, junto a las conexiones en el PLC que activa los actuadores.

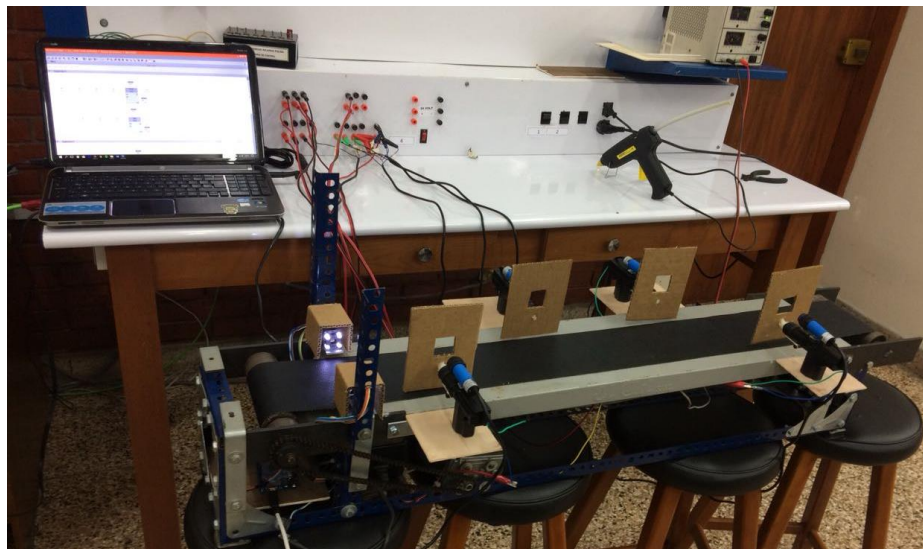


Figura 90: Diseño final del prototipo – conexiones con PLC

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. La faja transportadora automatizada para la clasificación de plástico por colores diseñado e implementado puede clasificar cuatro colores de distintos tipos de botellas de forma óptima. La clasificación es realizada por dos tipos de sensores, el sensor RGB TCS230 que determina el color detectado y el sensor óptico que detecta la presencia de la botella. El prototipo es automatizado, por lo que no es necesario un operador que lo supervise de forma constante, gracias a esto es que el personal no estará expuesto a los desechos plásticos tóxicos, evitando el contagio de enfermedades. Este prototipo se enfoca en la ayuda del cuidado del medio ambiente, creando un proceso más rápido de reciclaje para luego generar nuevos productos a partir del plástico reciclado y reducir la contaminación ambiental reusando el plástico como nueva materia prima.
2. El dimensionamiento de la parte mecánica del prototipo da como resultado que las botellas de plástico pueden ser transportadas de forma segura sin temor a que se caigan durante el traslado hasta la llegada al actuador, el cual las impulsará a su respectivo contenedor. Con esta estructura es posible segregar 4 colores específicos de plástico, si se desea agregar más colores para hacer un reciclaje más óptimo, es posible agregarlos a la programación de acuerdo con su rango de frecuencia que emite el color. La estructura tiene un largo de 122cm, una altura de 34cm y un ancho de 19cm; en el caso de la parte eléctrica y electrónica, la interfaz Arduino, el cual hace la interpretación de la señal del RGB, trabaja con un voltaje de 12V, mandando pulsos de 5V por los outputs hacia los optoacopladores, los cuales, al recibir el pulso, emiten otro pulso de 24V, los cuales son interpretado por el PLC que trabaja con una fuente de alimentación de 220VAC y outputs tipo relay, los cuales accionan a los actuadores según la interpretación de los pulsos en la programación Ladder.

3. Por otro lado, para la selección de la interfaz que interpretaría los datos enviados por el sensor RGB, se optó por el Arduino Mega2560 y por la cantidad de pines que se usaron para conectar los sensores, un total de 20 pines entre inputs y outputs digitales. El mismo análisis se realizó al escoger el modelo de PLC; se optó por la marca SIEMENS y el modelo S7-1200 AC/DC/RLY, el cual, por su arquitectura AC (alimentación), DC (inputs) y RLY (outputs) y la cantidad de entradas y salidas digitales, de las cuales se usaron 7 inputs digitales de 24VDC y 4 outputs tipo relay para la activación de los actuadores, resultó ser el modelo más óptimo para la automatización. Así mismo, al trabajar con lenguaje Ladder, por medio del programa TIA PORTAL V14 en su última versión, es posible una fácil interpretación de los pulsos recibidos; software el cual se obtuvo una licencia de prueba por 1 mes, tiempo necesario para realizar la programación y puesta en marcha.

RECOMENDACIONES

1. El funcionamiento del prototipo es el adecuado para la tarea planteada, pero no es el más óptimo, debido a que el tiempo de espera entre botellas, lo cual es de unos diecisiete segundos en promedio. Esto se debe al diseño del mismo prototipo, al cambiar por un motor con caja reductora sin engranaje se puede optimizar el tiempo de llegada de la botella al actuador. Asimismo, con unos actuadores con un fin de carrera más largo, pero conservando el mismo principio de los motores de cierre centralizado, se puede enviar las botellas a los contenedores de forma más óptima.
2. Es posible reducir el tiempo de reciclaje modificando la programación, agregando una memoria la cual permita almacenar los datos del color obtenido por los sensores, de esta forma los datos almacenados en la memoria serán utilizados al momento que el sensor óptico detecte el objeto para que comande la función del actuador de acuerdo al color detectado.

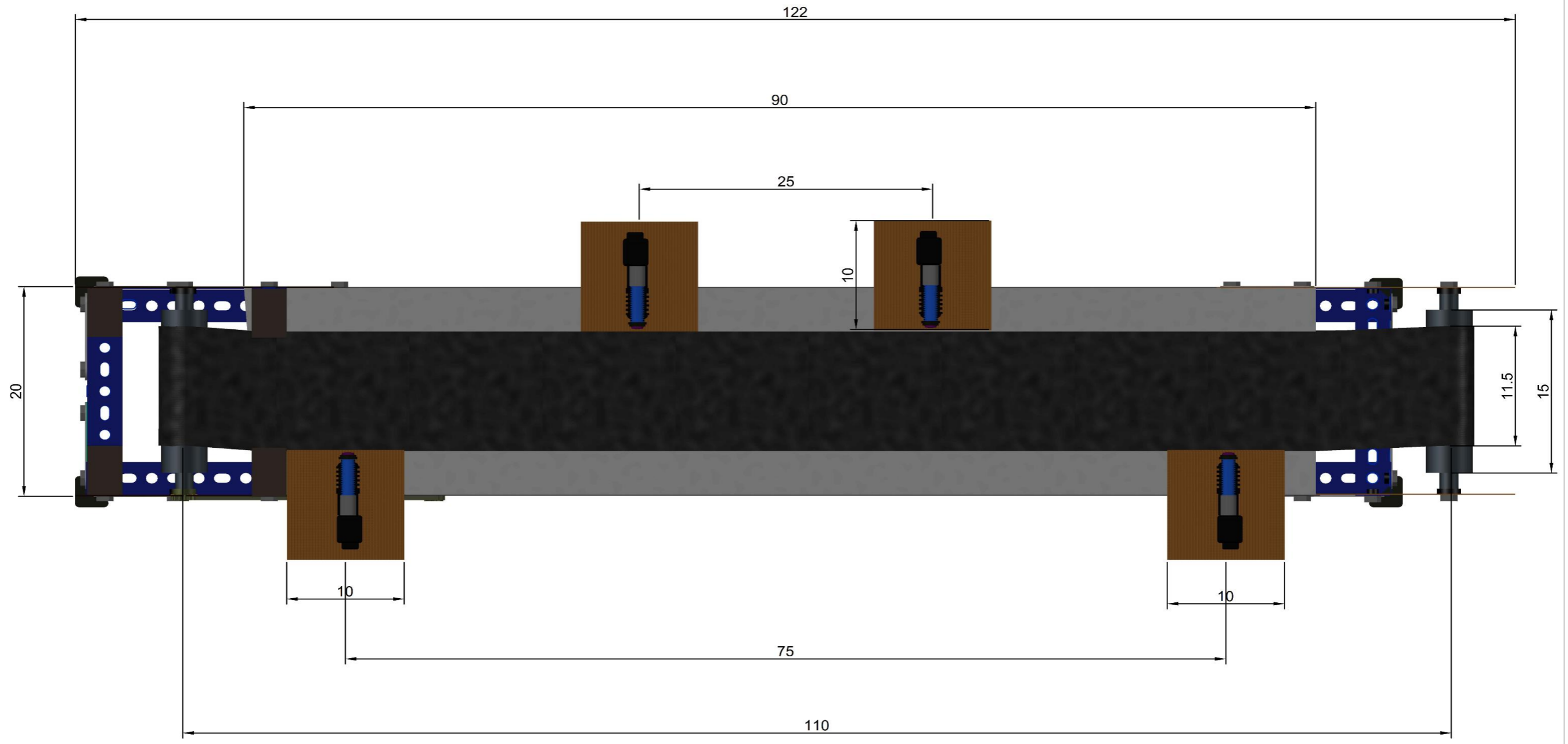
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calderón, J. (2009). Control y monitoreo SCADA de un proceso experimental, utilizando PLC SIEMENS S7-300 y software LabView (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.-México.
- Contreras, A. (2010). Diseño de un sistema de automatización para el sistema de iluminación de una planta industrial (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
- Esbelt. (2009). Características técnicas. Bandas transportadoras.
- Geywitz, S. (2013). Cálculo de cintas transportadoras (artículo), de Universidad Técnica Federico Santa María Sitio web: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Maquinas%20y%20equipos/cintas.htm>
- Groove, M. (1997). Fundamentos de manufactura moderno-material, procesos y sistemas. 1ra edición. Pensilvania, EEUU: Prentice Hall
- Held, G., Vilches, F. (2008). Proyecto planta recicladora de PET (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile-Chile.
- Hackworth, J., Hackworth Jr., F. (2003). Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications. EEUU: Pearson
- Mandado, E., Acevedo, J., Silva, C. (2009). Autómatas programables y sistemas de automatización. Vigo, España: Marcombo
- RECYTRANS – Soluciones globales para el reciclaje (2013). Funcionamiento de una planta de clasificación de residuos. (Página Web) Recuperado de: <https://www.recytrans.com/blog/funcionamiento-de-una-planta-de-clasificacion-de-residuos/>
- Röben, E. (2003). El Reciclaje: Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico. Loja, Ecuador: DED
- Rulmeca, R. (2003). Rodillos y componentes para el transporte por banda de material a granel. Manual (2a. ed.). (Manual) Recuperado de: <http://www.rulmeca.com/es/grupo>
- Salinero, M. (2013). Diseño de una banda transportadora mediante Guide de Matlab (Proyecto de Fin de carrera). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid-España.

- Siegling Transilon. (2013). Bandas de transporte y procesamiento. Manual técnico.
- Trigo, R. (1997). Ingeniería química: La recuperación de los residuos plásticos, España.
- Villar, C. (2013). Evaluación técnica y económica para implementar una planta de procesamiento de plástico reciclado en chincha (Tesis de Pregrado). Universidad San Martín de Porres, Lima-Perú.

ANEXOS

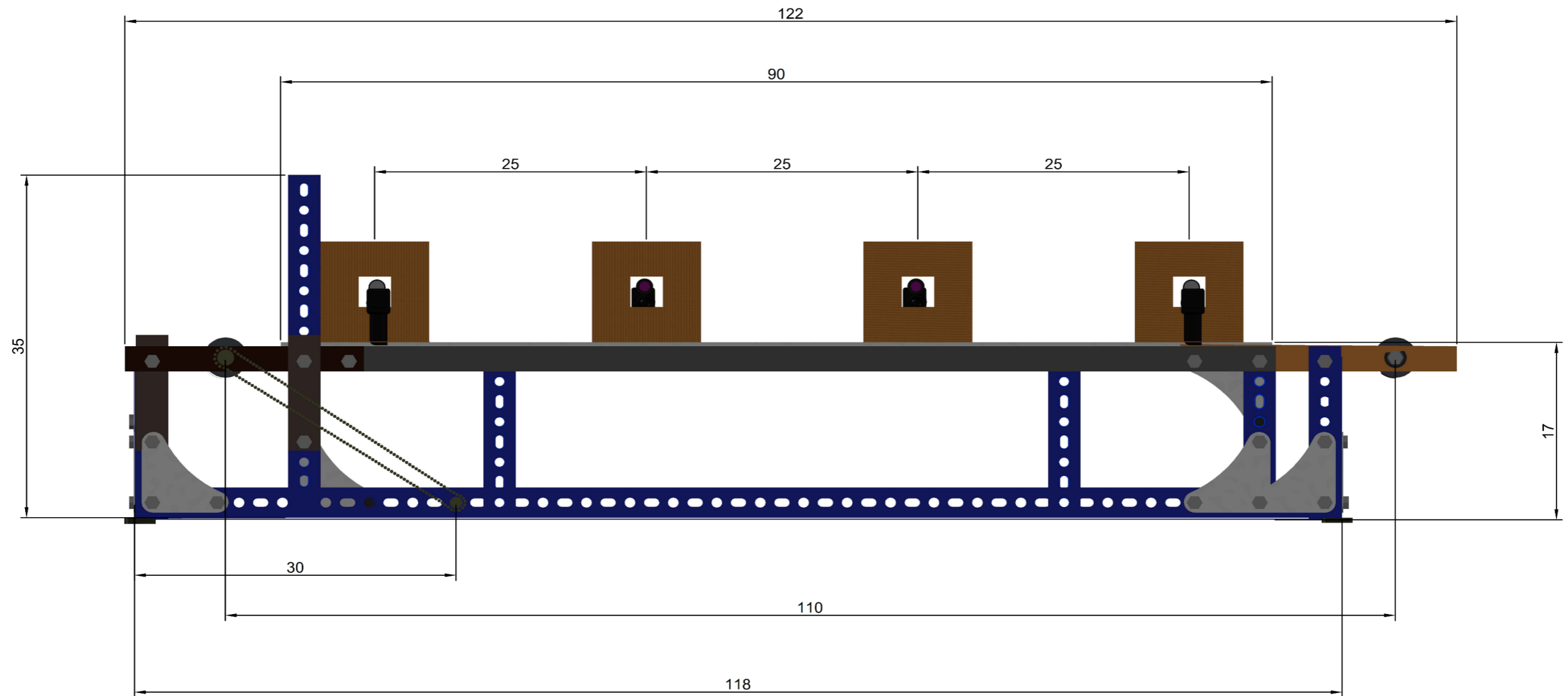
PLANOS MECÁNICOS




REFERENCIA:	PLANO DE PLANTA DEL PROTOTIPO	PLANO:	SD001
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DEL PLASTICO A TRAVES DE SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO		
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA
		FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANI NAVARRETE, PEDRO FREDDY		
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR		
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS		



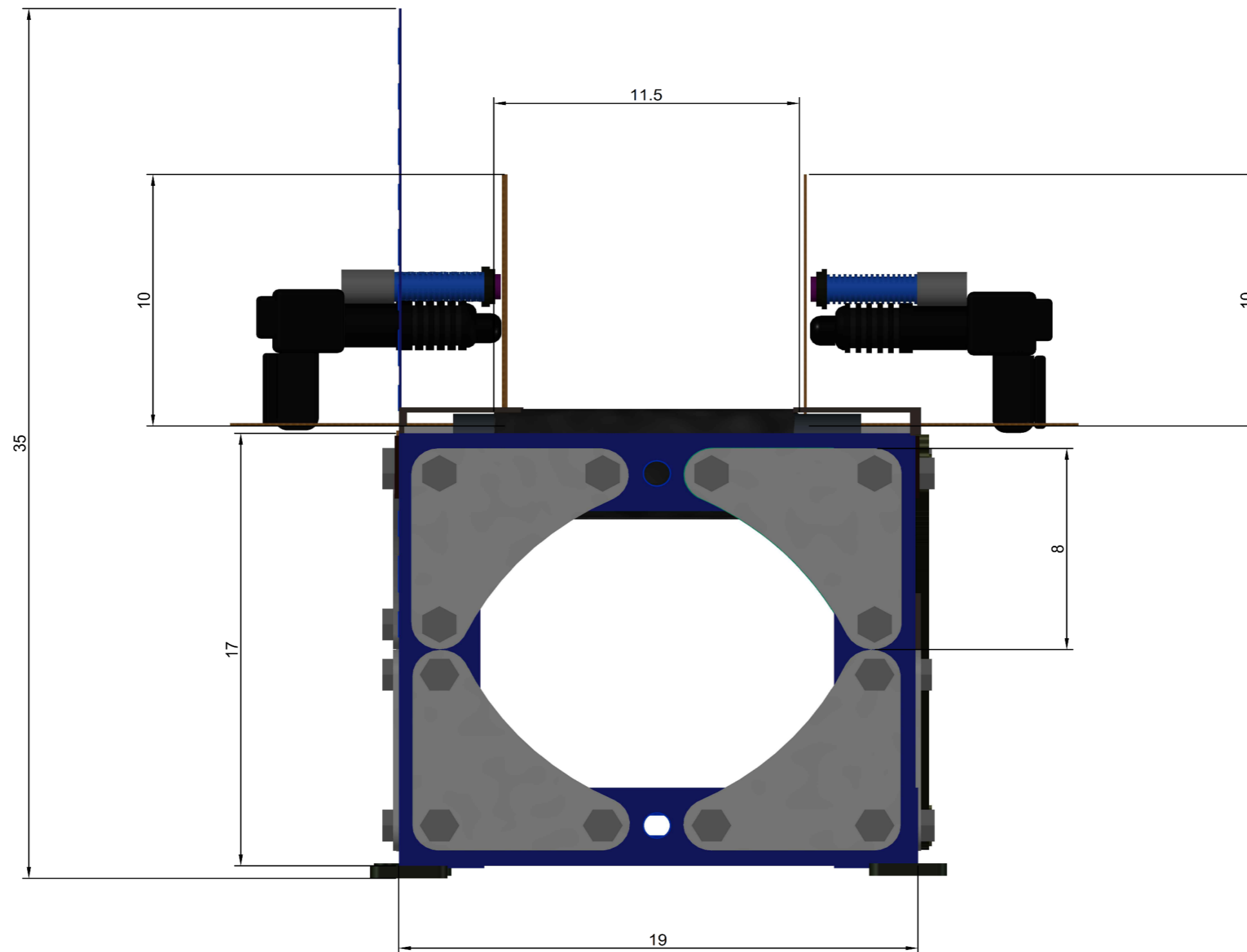
Anexo 2: Plano de planta del prototipo.
 Fuente: Elaboración propia.



REFERENCIA:	PLANO DE PERFIL DEL PROTOTIPO		PLANO:	SD002	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DEL PLÁSTICO A TRAVÉS DE SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANI NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR			 Universidad Ricardo Palma <i>Formamos seres humanos para una cultura de paz</i>	
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				

Anexo 3: Plano de perfil del prototipo.

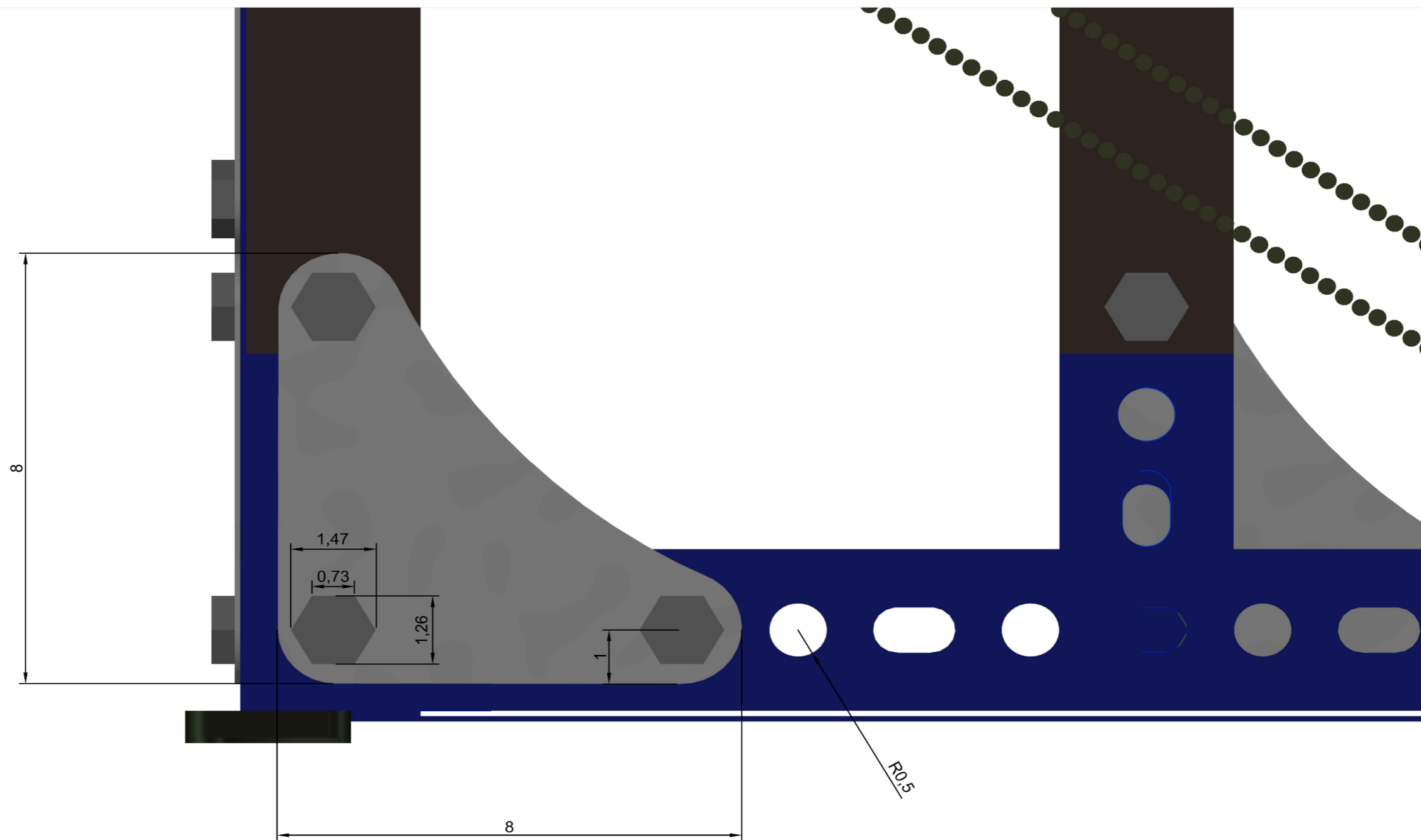
Fuente: Elaboración propia.



REFERENCIA:	PLANO DE ALZADO DEL PROTOTIPO		PLANO:	SD003	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DEL PLÁSTICO A TRAVÉS DE SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR				
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				

Anexo 4: Plano de perfil del prototipo.

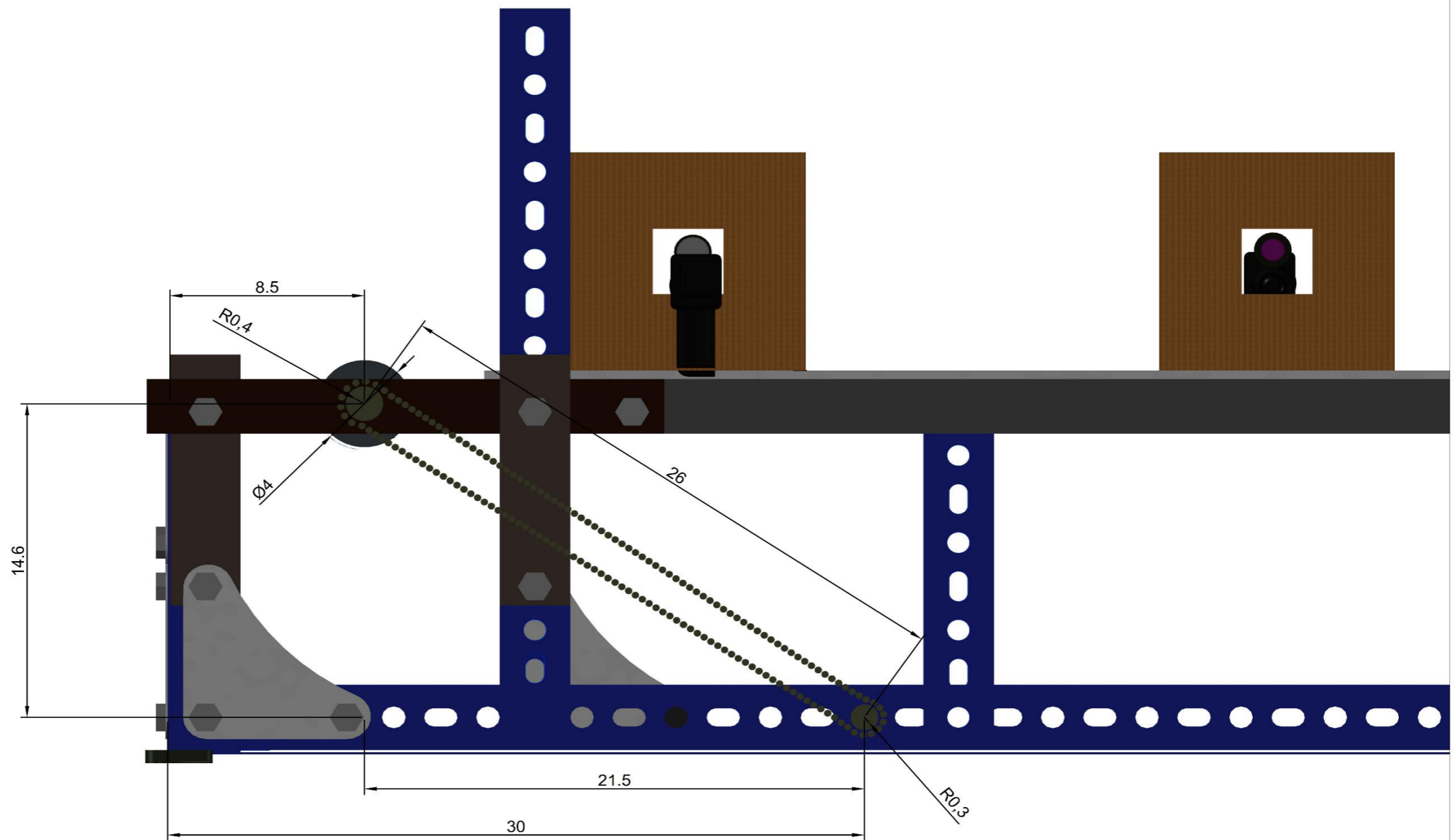
Fuente: Elaboración propia.



REFERENCIA:	UNIÓN DE ÁNGULOS RANURADOS	PLANO:	SD004
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DEL PLÁSTICO A TRAVÉS DE SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO		
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA
ASESOR:	DR. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY	FECHA:	29/07/2018
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR	 Universidad Ricardo Palma <i>Formamos seres humanos para una cultura de paz</i>	
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS		

Anexo 5: Unión de ángulos ranurados.

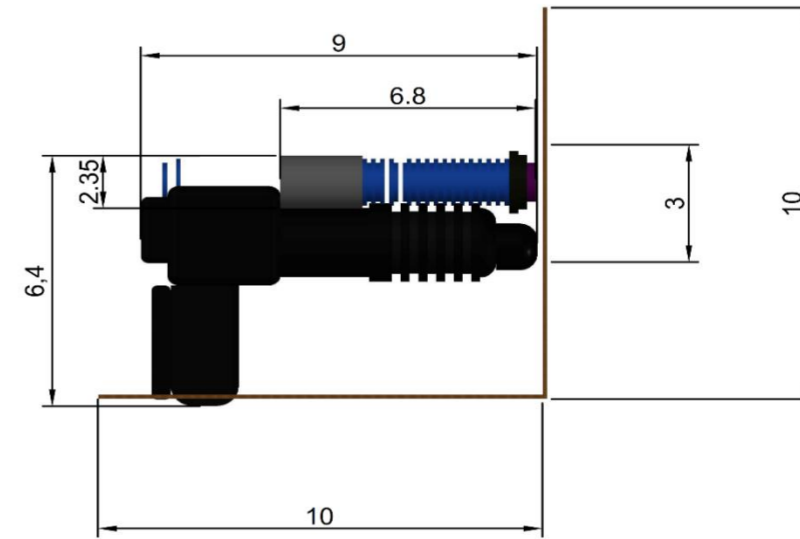
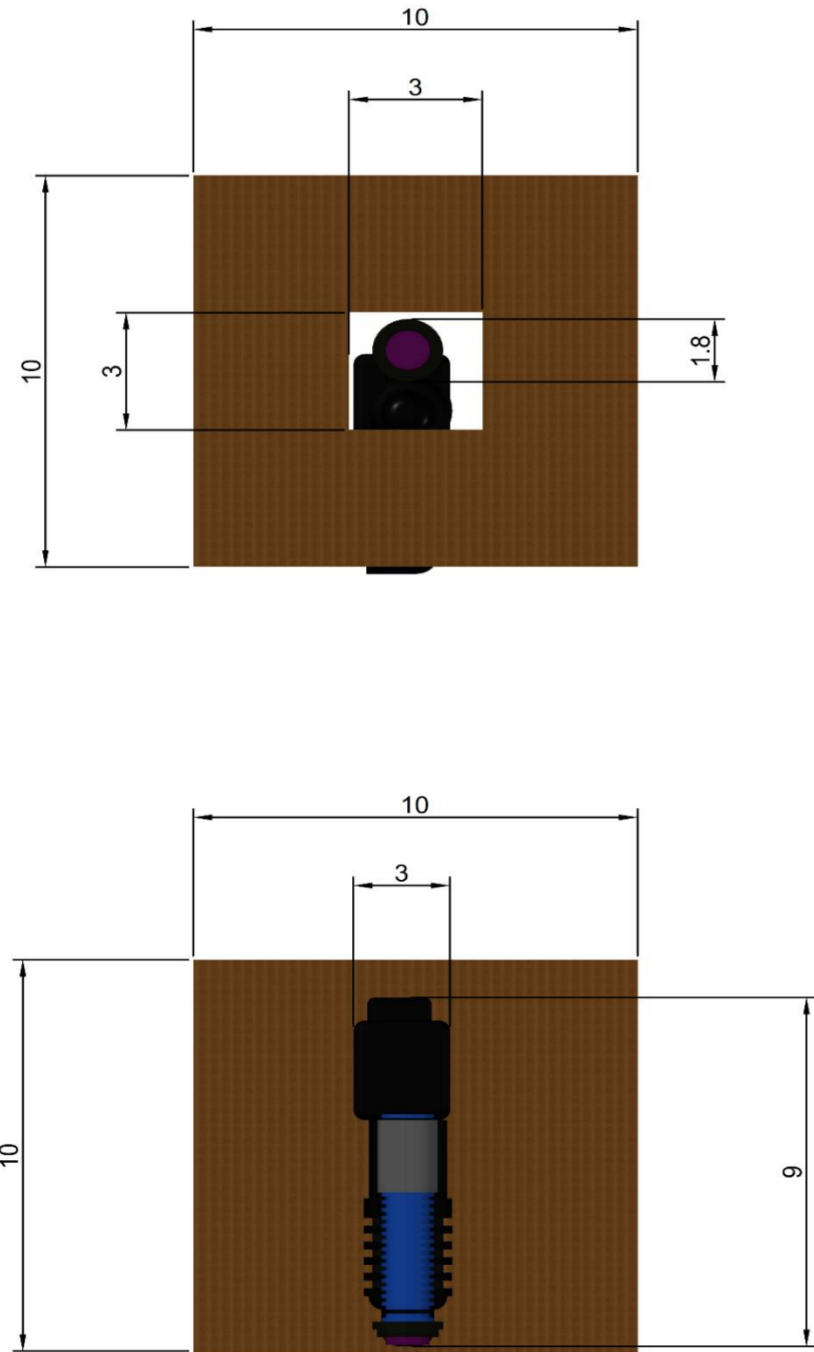
Fuente: Elaboración propia.



REFERENCIA:	UNIÓN DE CADENA Y ENGRANAJES		PLANO:	SD005	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DEL PLÁSTICO A TRAVÉS DE SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANI NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR			 Universidad Ricardo Palma <i>Formamos seres humanos para una cultura de paz</i>	
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				

Anexo 6: Unión de cadena y engranajes.

Fuente: Elaboración propia.



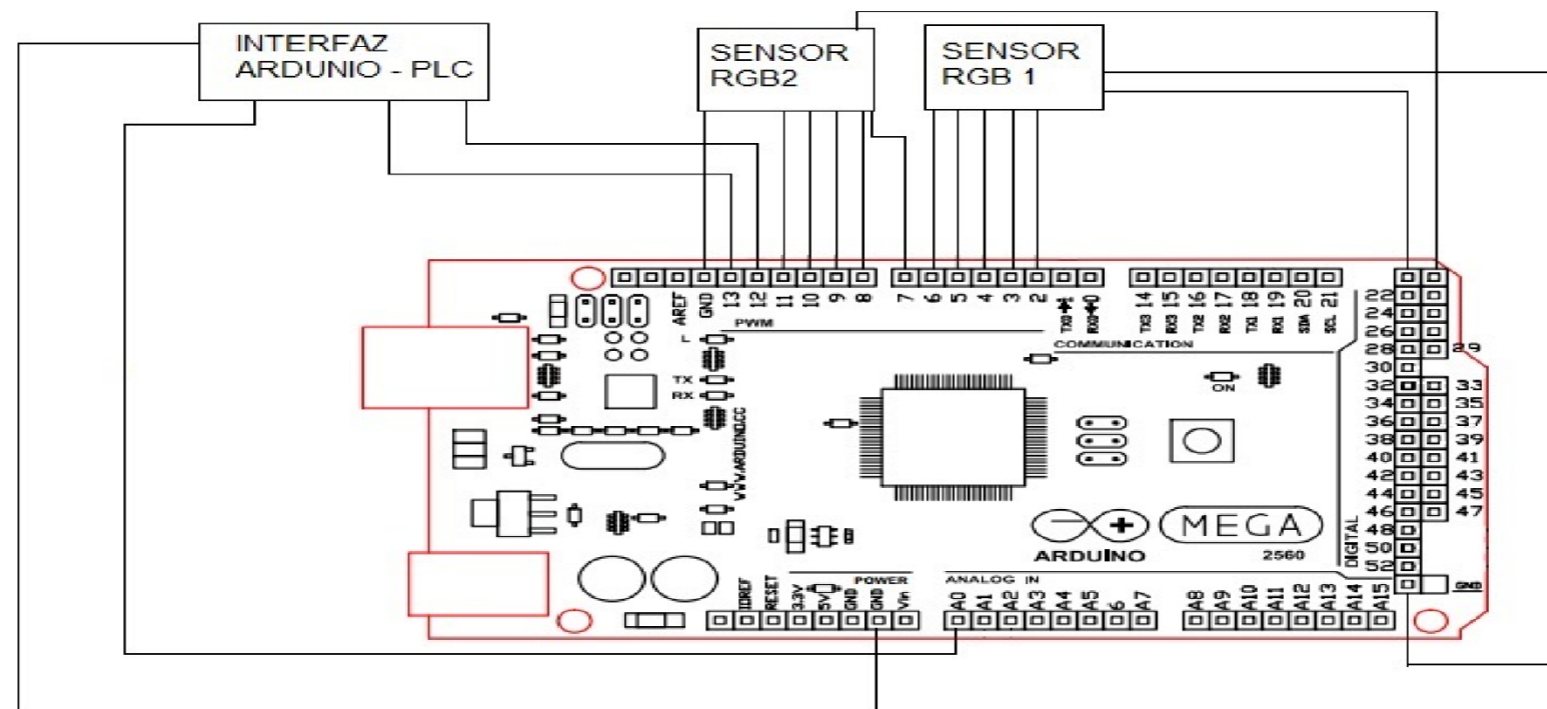
REFERENCIA:	ACTUADOR Y SENSOR FOTOELÉCTRICO		PLANO:	SD006	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DEL PLÁSTICO A TRAVÉS DE SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR				
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				



Anexo 7: Actuador y sensor fotoeléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

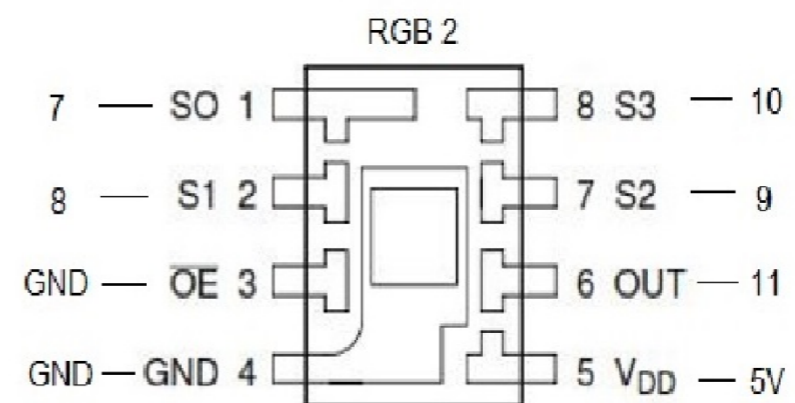
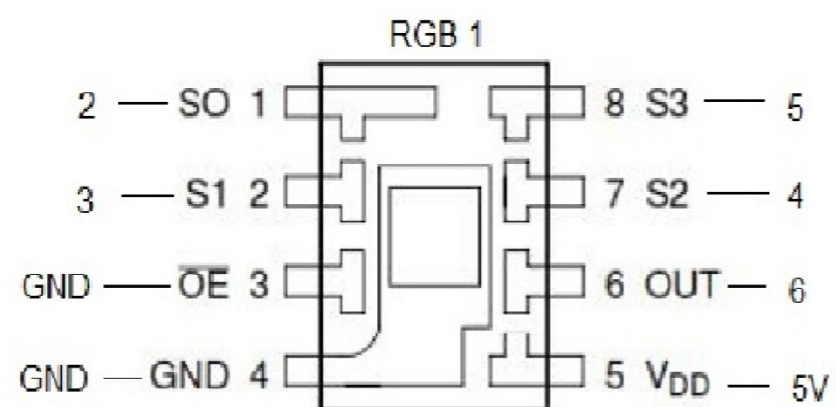
PLANOS ELECTRÓNICOS



REFERENCIA:	CONEXIONES A LA INTERFAZ ARDUINO		PLANO:	SD007	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICOS UTILIZANDO PLC Y SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY		 Universidad Ricardo Palma <i>Formamos seres humanos para una cultura de paz</i>		
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				

Anexo 9: Conexiones a la interfaz Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

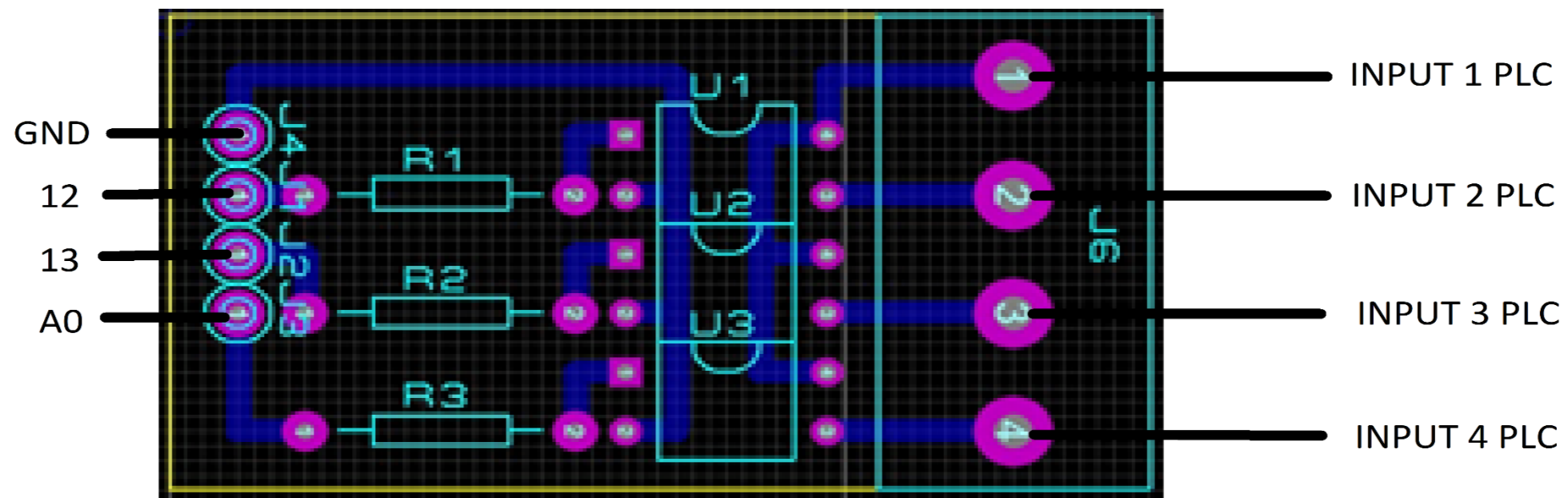


REFERENCIA:	CONEXIONES DEL SENSOR RGB TCS230			PLANO:	SD008
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICOS UTILIZANDO PLC Y SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANI NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR				
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				



Anexo 10: Conexiones del sensor RGB TCS230.

Fuente: Elaboración propia.



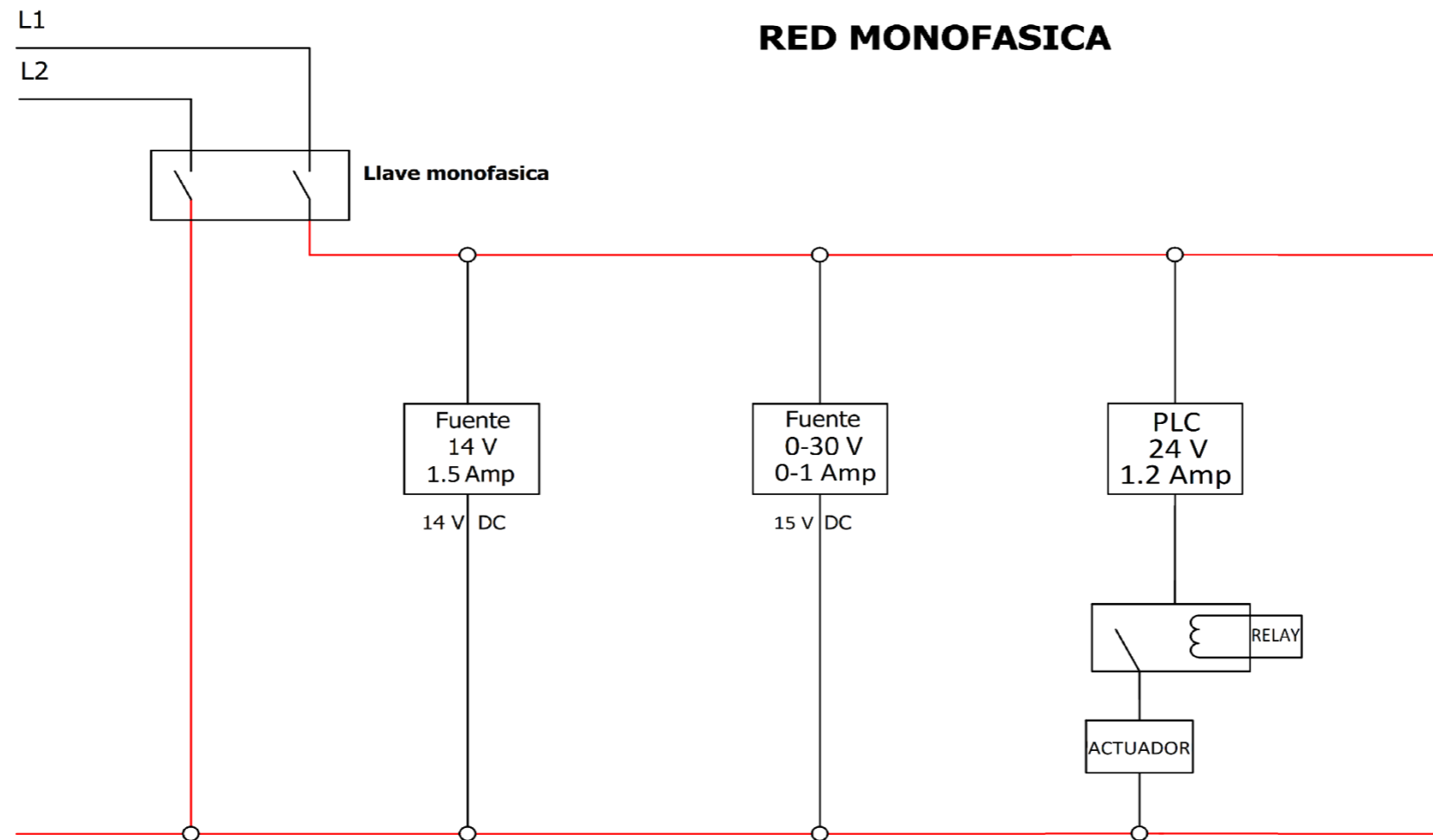
REFERENCIA:	INTERFASE ARDUINO - PLC		PLANO:	SD009	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICOS UTILIZANDO PLC Y SENSORES RGB PARA LA PLANTA REICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR				
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				



Anexo 11: Interfaz Arduino-PLC.

Fuente: Elaboración propia.

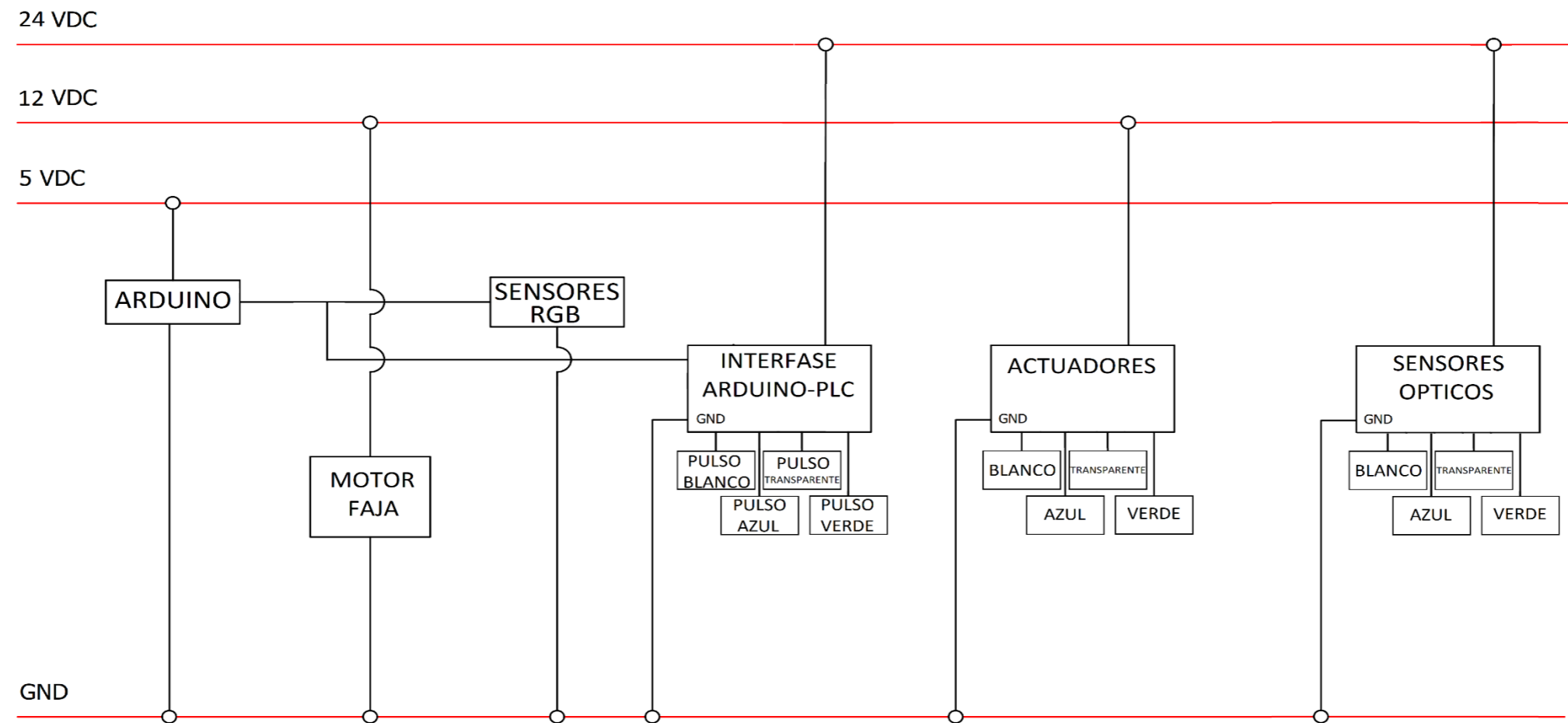
PLANOS ELÉCTRICOS



REFERENCIA:	DISTRIBUCIÓN 220V AC		PLANO:	SD010	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICOS UTILIZANDO PLC Y SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR			 Universidad Ricardo Palma <i>Formamos seres humanos para una cultura de paz</i>	
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				

Anexo 13: Distribución 220V AC.

Fuente: Elaboración propia.



REFERENCIA:	DISTRIBUCIÓN V DC		PLANO:	SD011	
TESIS:	AUTOMATIZACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICOS UTILIZANDO PLC Y SENSORES RGB PARA LA PLANTA RECICLADORA DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO				
CANTIDAD:	1	CIUDAD:	LIMA	FECHA:	29/07/2018
ASESOR:	DR. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO FREDDY				
TESISTAS:	RODRIGUEZ ARAMBULO, ERICK JAIR			 Universidad Ricardo Palma <i>Formamos seres humanos para una cultura de paz</i>	
	SARAVIA SUÁREZ, EDGAR ALEXIS				

Anexo 14: Distribución V DC.

Fuente: Elaboración propia.

PROGRAMACIÓN DE SENSORES RGB

```
//1ER SENSOR
const int s0 = 2;
const int s1 = 3;
const int s2 = 4;
const int s3 = 5;
const int out = 6;

int blanco=0;
int verde=0;
int azul=0;
int transparente=0;

int blanco1 = 0;
int verde1 = 0;
int azul1 = 0;
int transparente1 = 0;

//2DO SENSOR
const int s00 = 7;
const int s11 = 8;
const int s22 = 9;
const int s33 = 10;
const int out2 = 11;
int blanco2 = 0;
int verde2 = 0;
int azul2 = 0;
int transparente2 = 0;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  //1ER SENSOR
  pinMode(s0,OUTPUT);
  pinMode(s1,OUTPUT);
```



```

pinMode(s2,OUTPUT);
pinMode(s3,OUTPUT);
pinMode(out,INPUT);
digitalWrite(s0,HIGH);
digitalWrite(s1,LOW);
//2DO SENSOR
pinMode(s00,OUTPUT);
pinMode(s11,OUTPUT);
pinMode(s22,OUTPUT);
pinMode(s33,OUTPUT);
pinMode(out2,INPUT);
digitalWrite(s00,HIGH);
digitalWrite(s11,LOW);
pinMode(12,OUTPUT);
pinMode(13,OUTPUT);
pinMode(A0,OUTPUT);
}

void loop(){
  color();
  blanco=blanco1+transparente1+blanco2+transparente2;
  verde=verde1+transparente1+verde2+transparente2;
  azul=+azul1+transparente1+azul2+transparente2;
  transparente=transparente1+transparente2;

  Serial.print(" ");
  Serial.print(blanco, DEC);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(verde, DEC);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(azul, DEC);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(transparente, DEC);

```

```
// SENSOR
```

```
if (295 > blanco && blanco > 230)
```

```
{
```

```
  Serial.println(" Blanco");
```

```
  digitalWrite(12,0);
```

```
  digitalWrite(13,0);
```

```
  digitalWrite(A0,0);
```

```
  delay(7000);
```

```
}
```

```
  else if ((1120 > azul && azul > 850) or (700 > azul && azul > 570))
```

```
{
```

```
  Serial.println(" Azul");
```

```
  digitalWrite(12,0);
```

```
  digitalWrite(13,1);
```

```
  digitalWrite(A0,0);
```

```
  delay(15000);
```

```
}
```

```
else if (50 > transparente && transparente > 35)
```

```
{
```

```
  Serial.println(" Transparente");
```

```
  digitalWrite(12,1);
```

```
  digitalWrite(13,0);
```

```
  digitalWrite(A0,0);
```

```
  delay(21000);
```

```
}
```

```
else if ((1190 > verde && verde > 940) or (270 > verde && verde > 210))
```

```
{
```

```
  Serial.println(" Verde");
```

```
  digitalWrite(12,1);
```

```
  digitalWrite(13,1);
```

```
  digitalWrite(A0,0);
```

```
  delay(25000);
```

```

}
else{
Serial.println(" No se detecta objeto ");
digitalWrite(12,0);
digitalWrite(13,0);
digitalWrite(A0,1);
}
delay(400);
}

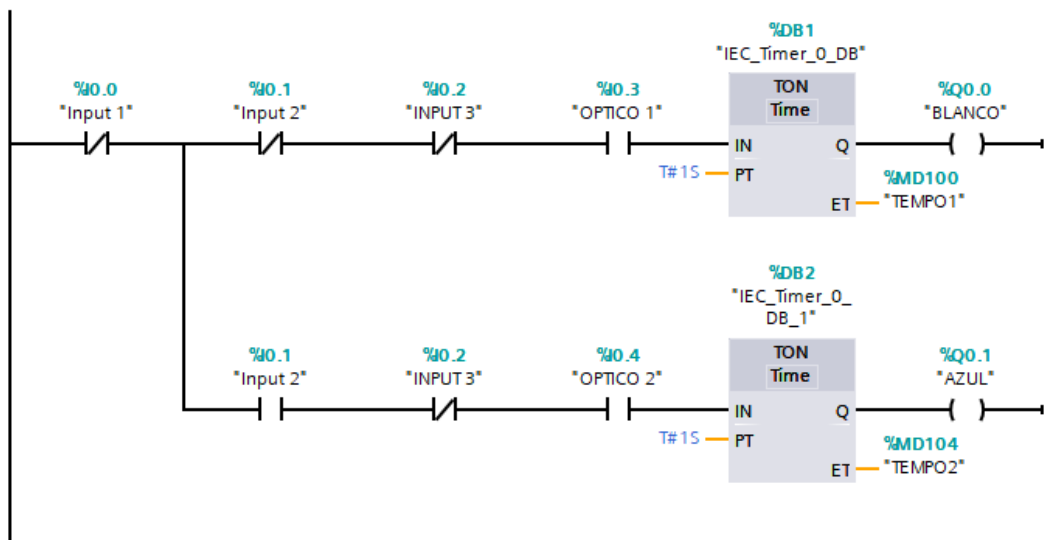
void color()
{
digitalWrite(s2, LOW);
digitalWrite(s3, LOW);
blanco1 = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
digitalWrite(s3, HIGH);
azul1 = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
digitalWrite(s2, HIGH);
verde1 = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
digitalWrite(s3, LOW);
transparente1 = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
//DEL SEGUNDO SENSOR
digitalWrite(s22, LOW);
digitalWrite(s33, LOW);
blanco2 = pulseIn(out2, digitalRead(out2) == HIGH ? LOW : HIGH);
digitalWrite(s33, HIGH);
azul2 = pulseIn(out2, digitalRead(out2) == HIGH ? LOW : HIGH);
digitalWrite(s22, HIGH);
verde2 = pulseIn(out2, digitalRead(out2) == HIGH ? LOW : HIGH);
digitalWrite(s33, LOW);
transparente2 = pulseIn(out2, digitalRead(out2) == HIGH ? LOW : HIGH);
}

```

PROGRAMACIÓN DEL PLC

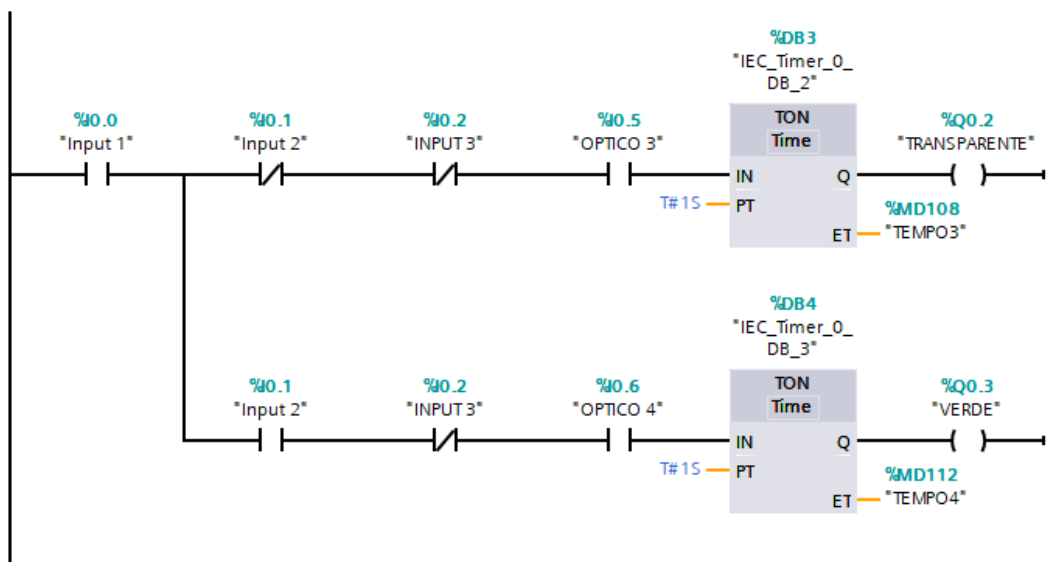
▼ Segmento 1:

Comentario



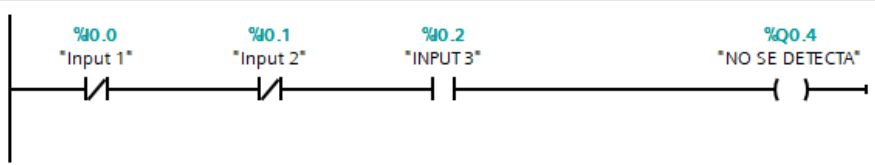
▼ Segmento 2:

Comentario



▼ Segmento 3:

Comentario



CONSUMO ELÉCTRICO

ITEM	CONSUMO ELÉCTRICO		
	CANTIDAD	AMP. Por unid.	VOLT. Por Unid.
Sensor óptico	4	300 mA	24 VDC
Actuador	4	200-500 mA	12 VDC
Sensor RGB	2	40 mA	5VDC
PLC S7-1200	1	500 mA-1.2 A	120/220 VAC
Motor	1	200-900 mA	12 VDC
Arduino MEGA2560	1	9.4-35 mA	5-12 VDC
ATMega2560	1	0.1-500 μ A	1.8 VDC

COSTOS DEL PROTOTIPO

COSTOS DE PROTOTIPO			
ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Faja transportadora	1	100 x m2	S/30.00
Rodillos	2	30	S/60.00
Sensor RGB	2	25	S/50.00
Sensor óptico	4	30	S/120.00
Contenedores	4	20	S/80.00
Cables variados	30	0.5	S/15.00
Pernos y tuercas	50	0.4	S/20.00
Plancha metálica	1	50	S/50.00
Ángulos ranurados	5	15 x m	S/75.00
Botellas de plástico	70	RECICLADO	-
Arduino MEGA2560	1	80	S/80.00
PLC SIEMENS S7-1200 AC/DC/RLY	1	1500	S/1,500.00
TIA Portal V14	1	Licencia gratuita x 1 mes	-
Transformador	1	20	S/20.00
Base para los actuadores	4	2	S/8.00
Cable banana - cocodrilo	8	4	S/32.00
Motor con caja reductora	1	30	S/30.00
Sistema de acondicionamiento	1	10	S/10.00
Actuador universal	4	15	S/60.00
Impresión 3D para sensores RGB	2	15	S/30.00
Fuente de alimentación variable	1	200	S/200.00
COSTO TOTAL			S/2,470.00