



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tema:

**ESTACIÓN DE PALETIZADO Y CLASIFICACIÓN DE OBJETOS
MEDIANTE UN BRAZO ROBÓTICO EPSON CONTROLADO POR
INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero Industrial

ÁREA: Automatización

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la información y Sistemas de
control

AUTORES: Cortez Bonilla Francisco Yofre
Muñoz Vargas Cristian Rodrigo

TUTOR: Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg.

**Ambato - Ecuador
febrero – 2024**

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: ESTACIÓN DE PALETIZADO Y CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE UN BRAZO ROBÓTICO EPSON CONTROLADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por los señores Francisco Yofre Cortez Bonilla y Cristian Rodrigo Muñoz Vargas, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que los estudiantes han sido tutorados durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, febrero 2024.

Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg.
TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema ESTACIÓN DE PALETIZADO Y CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE UN BRAZO ROBÓTICO EPSON CONTROLADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Ambato, febrero 2024.



Francisco Yofre Cortez Bonilla
C.C. 0550132369
AUTOR



Cristian Rodrigo Muñoz Vargas
C.C. 0503967002
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedemos todos nuestros derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizamos su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, febrero 2024.



Francisco Yofre Cortez Bonilla
C.C. 0550132369
AUTOR



Cristian Rodrigo Muñoz Vargas
C.C. 0503967002
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por los señores Francisco Yofre Cortez Bonilla y Cristian Rodrigo Muñoz Vargas, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado ESTACIÓN DE PALETIZADO Y CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE UN BRAZO ROBÓTICO EPSON CONTROLADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, febrero 2024.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Bolívar Morales Oñate, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Jesús Guamán Molina, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mí madre Marieta, que es mi razón de ser, quien siempre estuvo a mi lado en todo este proceso y no me dejó rendirme, enseñándome a superarme cada día y así culminar esta etapa.

A mí padre Romel, que es mi sustento y de quién aprendí a esforzarme, y luchar por lo que quiero conseguir.

A mis hermanos Enrique, Katherine y Sara, quienes con su alegría y amor leal me brindaron su apoyo en esta etapa.

A mi sobrina Ahitana, quien es mi pilar y motivación, que con sus ocurrencias me alegra la vida.

A mis amigos Nicole y Galo que con su amistad incondicional han sido parte del proceso desde el inicio y hasta el final.

Francisco Yofre Cortez Bonilla

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la oportunidad de tener esta experiencia de vida, a mis padres Marco y Patricia que son los pilares fundamentales en mi vida, ya que con sus enseñanzas, consejos y apoyo me ayudaron a vivir esta etapa de mi vida de la mejor manera posible hasta poder culminarla con la satisfacción de haber cumplido las metas que me trace al inicio.

A mis hermanas Carol y Dominique quienes estaban presentes con sus alegrías cuando me hacía falta, me daban su apoyo total y su amor incondicional.

A Tatiana quien fue mi compañía en esta etapa de vida, quien supo darme su apoyo, aliento y las palabras correctas para no decaer en todo el transcurso de mi vida universitaria.

A todos mis familiares, mis amigos y conocidos que en algún momento de esta etapa supieron darme una palabra de aliento y ayudarme en lo moral y académico.

Cristian Rodrigo Muñoz Vargas

AGRADECIMIENTO

Al ingeniero Franklin Salazar por ser nuestro tutor y habernos apoyado en todo el proceso de titulación, brindándonos sus conocimientos y consejos.

A mi amigo y hermano de corazón Cristian, quien ha estado conmigo en las buenas y malas, es un honor el culminar esta etapa de mi vida junto a ti.

A Lizbeth quien no me dejó decaer siendo motivo e inspiración para mejorar cada día y así superarme hasta culminar esta etapa de mi vida.

A todos los docentes y amigos que tuve la dicha de conocer y recibir sus conocimientos para convertirlos en enseñanza y me ayudaron en mi formación personal y profesional.

Francisco Yofre Cortez Bonilla

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Franklin Salazar por ser nuestro tutor y habernos guiado durante esta etapa final como es el proceso de titulación, por su apoyo e incentivo a ser mejores cada día.

A Francisco por ser parte de varios procesos de formación y estudio académico, por ser más que un compañero y amigo un hermano de otra madre, sin su apoyo no hubiese sido posible culminar esta etapa de la vida teniendo los mejores recuerdos de trabajo en equipo.

A todos los ingenieros docentes que fueron parte de mi formación universitaria, amigos y conocidos de la facultad y a la facultad misma por todas las experiencias universitarias vividas.

Cristian Rodrigo Muñoz Vargas

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
RESUMEN EJECUTIVO	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Tema de investigación	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes investigativos	3
1.3 Fundamentación teórica	6

1.3.1 Internet de las cosas (IoT)	6
1.3.2 Pirámide de Automatización	7
1.3.3 Sistema SCADA.....	9
1.3.4 Componentes de hardware	10
1.3.5 Redes de comunicación.....	11
1.3.6 Dispositivos de campo	12
1.3.7 Protocolos de comunicación	13
1.3.8 Controlador Lógico Programable (PLC).....	15
1.3.9 Normativa Vigente	17
1.3.10 Interfaz Hombre Máquina (HMI).....	19
1.3.11 Sensores.....	20
1.3.12 Actuadores.....	22
1.3.13 Robótica industrial	25
1.3.14 Inteligencia artificial (IA)	28
1.4 Objetivos	32
1.4.1 Objetivo general	32
1.4.2 Objetivos específicos	32
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	33
2.1 Materiales.....	33
2.2 Métodos.....	35

2.2.1 Modalidad de la investigación	35
2.2.2 Recolección de información.....	39
2.2.3 Procesamiento y análisis de datos	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	42
3.1.1 Análisis de los procesos industriales.....	42
3.2 Desarrollo e implementación del sistema	47

3.2.1 Red de comunicación PROFINET	47
3.2.2 Estación automatizada de embotellado	48
3.2.3 Conexiones eléctricas de la estación automatizada de embotellado	53
3.2.4 Sensores fotoeléctricos.....	55
3.2.5 Sensores fotoeléctricos de haz pasante por infrarrojos	58
3.2.6 Sistema neumático del proceso	60
3.2.7 Bombas no sumergibles de agua	61
3.2.8 Motor DC con reductor de velocidad.....	64
3.2.9 Motor de taponado	68
3.2.10 Relés de corriente continua	69
3.2.11 Programación de la estación automatizada en TIA PORTAL	74
3.2.12 Visión Artificial	93
3.2.13 Entorno del Software EPSON RC+	97
3.2.14 Comunicación para el funcionamiento único del sistema.....	109
3.2.15 Pruebas de funcionamiento	111
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
4.1 Conclusiones	120
4.2 Recomendaciones.....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS	1

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas de automatización industrial	18
Tabla 2. Tipo de sensores en el sector industrial	21
Tabla 3. Tipo de actuadores eléctricos.....	23
Tabla 4. Materiales de investigación.....	33
Tabla 5. Softwares implementados para la investigación	34
Tabla 6. Materiales implementados en el sistema.....	35
Tabla 7. Preguntas de investigación.....	36
Tabla 8. Términos de búsqueda	37
Tabla 9. Criterios de búsqueda.....	37
Tabla 10. Recolección de la información.....	39
Tabla 11. Resultados de investigación	43
Tabla 14. Dirección y dispositivos en el nodo PROFINET	48
Tabla 15. Características principales de PLC's.....	49
Tabla 16. Descripción de factores para la selección del PLC	49
Tabla 17. Escala de importancia para evaluación de criterios	50
Tabla 18. Ponderación de factores PLC's	50
Tabla 19. Escala valorativa para la calificación de factores ponderados	51
Tabla 20. Comparación de PLC's	52
Tabla 21. Descripción de entradas físicas del PLC	53
Tabla 22. Descripción de salidas físicas del PLC	54

Tabla 23. Descripción de salidas del módulo integrado	55
Tabla 24. Características principales de sensores fotoeléctricos	56
Tabla 25. Descripción de factores para la selección de los sensores	56
Tabla 26. Ponderación de factores de sensores	57
Tabla 27. Comparación de factores de sensores fotoeléctricos.....	57
Tabla 28. Características principales de sensores fotoeléctricos de haz pasante	59
Tabla 29. Comparación de sensores de haz pasante	60
Tabla 30. Descripción de electroválvulas	61
Tabla 31. Características principales de bombas DC	62
Tabla 32. Descripción de factores para la selección de bombas DC	62
Tabla 33. Ponderación de factores de bombas DC	63
Tabla 34. Comparación de bombas DC	63
Tabla 35. Características principales de motores 24V DC	65
Tabla 36. Descripción de factores para la selección de motores 24V DC	66
Tabla 37. Ponderación de factores de motores DC	66
Tabla 38. Comparación de motores de 24V DC	67
Tabla 39. Características principales de motor de 12 V DC	68
Tabla 40. Comparación de motores para el taponado	68
Tabla 41. Características principales de relés a bajo costo	70
Tabla 43. Descripción de factores para la selección de los relés	71
Tabla 44. Ponderación de factores de relés.....	71

Tabla 45. Comparación de relés.....	71
Tabla 46. Características principales de tipos de IA	94
Tabla 47. Pruebas de funcionamiento de la visión artificial	112
Tabla 48. Cálculo del error para la visión artificial	114
Tabla 49. Pruebas de funcionamiento de la estación automatizada.....	116
Tabla 50. Cálculos de las pruebas de funcionamiento	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de la automatización.....	7
Figura 2. Estructura básica de un sistema SCADA.....	10
Figura 3. Redes de comunicación industrial	12
Figura 4. Arquitectura de un PLC	16
Figura 5. Pantalla HMI marca Xinje	19
Figura 6. a) Cilindro neumático de simple efecto, b) Cilindro de doble efecto.....	24
Figura 7. Tipos de robots industriales	27
Figura 8. Brazo robótico Epson ProSix VT6-A901S.....	28
Figura 9. Diagrama de bloques del proceso de visión artificial.....	29
Figura 10. Etapas de un sistema de visión artificial.....	29
Figura 11. Geometría del espacio de colores RGB	31
Figura 12. Geometría del espacio de colores HSL.....	32
Figura 13. Diagrama de flujo metodología PRISMA.	38
Figura 14. Esquema de comunicación PROFINET de la estación.....	48
Figura 15. Conexión de las entradas físicas	53
Figura 16. Conexión de las salidas físicas	54
Figura 17. Sensores fotoeléctricos del sistema	55
Figura 18. Sensor fotoeléctrico de haz pasante	59
Figura 19. Panel de electroválvulas del sistema.....	61
Figura 20. Motor y sistema de poleas de la banda transportadora.....	65

Figura 21. Conexionado de bombas y motores a relés.....	70
Figura 22. Declaración de variables de entrada	74
Figura 23. Declaración de variables de marcas.....	75
Figura 24. Declaración de variables de marcas.....	75
Figura 25. Declaración de variables de salida.....	76
Figura 26. Bloque de programación Main	76
Figura 27. Segmento 1 “Selección del modo de funcionamiento”	77
Figura 28. Segmento 2 “Inicio del sistema”.....	78
Figura 29. Activación de banda transportadora	79
Figura 30. Desactivación de banda transportadora	79
Figura 31. Selección de bebida 1	80
Figura 32. Selección de bebida 2	81
Figura 33. Selección de bebida 3	81
Figura 34. Inicio de etapa de llenado	82
Figura 35. Encendido de cilindro y bombas de llenado	83
Figura 36. Fin de la etapa de llenado	83
Figura 37. Inicio de la etapa de taponado	84
Figura 38. Conteo de bits del sensor de taponado.....	85
Figura 39. Activación de cilindros, luz y motor de taponado	85
Figura 40. Fin de etapa de taponado	86
Figura 41. Segmento 7 “Modo manual”	86

Figura 42. Activación manual de actuadores	87
Figura 43. Activación manual de actuadores	87
Figura 44. Imagen principal de la pantalla HMI	88
Figura 45. Imagen del modo automático de la pantalla HMI	88
Figura 46. Imagen del modo manual de la pantalla HMI	89
Figura 47. Imagen alarmas de la pantalla HMI.....	89
Figura 48. Comunicación OPC	90
Figura 49. Creación del canal de comunicación	90
Figura 50. Ingreso de variables que se utilizaran en la comunicación.....	91
Figura 51. Inicio de sesión HMI Intouch	91
Figura 52. Pantalla principal HMI Intouch	92
Figura 53. Pantalla del proceso de embotellado y taponado	92
Figura 54. Pantalla de activación manual de los actuadores	93
Figura 55. Pantalla de alarmas y gráficos del proceso.....	93
Figura 56. Programación en Python para el reconocimiento de colores.....	96
Figura 57. Programación en Python para el reconocimiento de colores.....	96
Figura 58. Programación en Python para el reconocimiento de colores.....	97
Figura 59. Robot añadido al sistema.....	98
Figura 60. Panel de control del Robot.....	99
Figura 61. Entorno de la ventana Mover y enseñar	100
Figura 62. Enseñanza puntos al robot	101

Figura 63. Paso 1 para enseñanza de palets.	101
Figura 64. Paso 2 para enseñanza de palets	102
Figura 65. Enseñanza de la esquina 1 del Palet	102
Figura 66. Conexión eléctrica entre el computer box y el robot EPSON	103
Figura 67. Comunicación de Pinza colaborativa RG2	104
Figura 68. Comunicación de Pinza colaborativa RG2	104
Figura 69. Puntos enseñados al robot en el entorno.....	105
Figura 70. Pallets asignados para la clasificación.....	106
Figura 71. Puntos de trayectoria y movimiento	106
Figura 72. Puntos de ubicación de botellas.....	107
Figura 73. Programación robot EPSON.....	107
Figura 74. Programación de los colores restantes.....	108
Figura 75. Programación de la raspberry pi	109
Figura 76. Programación de la raspberry pi	110
Figura 77. Programación de la raspberry pi	110
Figura 78. Conexión raspberry pi y entradas del robot EPSON	111
Figura 79. % de error de las pruebas de reconocimiento	115
Figura 80. % de error de las pruebas de la estación automatizada.....	119

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plano de conexionado eléctrico de dispositivos	1
Anexo 2. Datasheet motor 12V DC	1
Anexo 3. Datsheet motor DC 24V	2
Anexo 4. Datasheet sensor M12.....	3
Anexo 5. Datasheet Sensor reflectivo	4
Anexo 6. Datasheet Relé 24V DC.....	5
Anexo 7. Datasheet PLC 1200	7
Anexo 8. Datasheet Pinza RG.....	15
Anexo 9. Datasheet Raspberry pi 3B+	23

RESUMEN EJECUTIVO

Tras la llegada de la revolución industrial que introdujo máquinas y equipos a gran escala que redujeron los tiempos de trabajo se mejoró la capacidad de producción de las industrias, sin embargo, el error producido por la intervención humana causa miles de problemas cada año.

Debido a estos factores, el estudio tuvo como objetivo el control de una estación de paletizado y clasificación de objetos mediante la inteligencia artificial que permita reducir el porcentaje de error en este tipo de procesos con base a tres etapas: primero, se identificó que el PLC S7-1200 permite manipular el sistema autónomo controlado por la inteligencia artificial de forma que determina adecuadamente el lugar correcto del objeto que ingresa al sistema; segundo, por medio de la comunicación OPC se envió y recibió los datos en tiempo real mostrados en el panel de control según el tiempo de procesamiento y; por medio de las pruebas de funcionamiento se determinó que existe un error aproximado del 11%.

Finalmente, se concluyó que el sistema es capaz de colocar adecuadamente 9 de cada 10 objetos que ingresan al sistema de clasificado empleando un tiempo promedio de 36,35 s. entre las entradas y salidas producidas durante el desarrollo del trabajo.

Palabras clave: Brazo robótico EPSON, controlador, comunicación OPC, inteligencia artificial, PLC S7-1200, sistema autónomo.

ABSTRACT

From the Industrial Revolution, which introduced large-scale machines and equipment that reduced working times, the production capacity of industries improved. However, errors caused by human intervention led to thousands of problems each year.

Due to these factors, the study aimed to control a palletizing and object sorting station through artificial intelligence to reduce the error percentage in such processes. This was based on three stages: first, it was identified that the S7-1200 PLC allows manipulation of the AI-controlled autonomous system to accurately determine the correct location of the entering object; second, through OPC communication, data was sent and received in real-time displayed on the control panel according to the processing time; and through operational tests, it was determined that there is an approximate error of 11%.

Finally, it was concluded that the system is capable of properly placing 9 out of 10 objects entering the sorting system, using an average time of 36.35 s between inputs and outputs produced during the development of the study.

Keywords: Artificial intelligence, autonomous system, controller, OPC communication, PLC S7-1200, robotic arm EPSON.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

ESTACIÓN DE PALETIZADO Y CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE UN BRAZO ROBÓTICO EPSON CONTROLADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

1.1.1 Planteamiento del problema

La propagación del Covid-19 a forma mundial, demostró que la población no estaba preparada para hacer frente a una catástrofe de tal magnitud, siendo vulnerable en áreas como el sector industrial que, cerró sus puertas por la restricción de movilidad. Dando como resultado la incapacidad de las personas de movilizarse hacia sus trabajos por las medidas de prevención aplicadas por los gobiernos de cada país, terminando en el paro completo o parcial de las actividades de trabajo y en el desabastecimiento de productos de primera necesidad [1].

Si bien, la emergencia sanitaria se dio por finalizada en el año 2023, la población ya presentaba un constante cambio sobre los métodos del manejo de recursos presentes en la industria. Es así como la robotización tuvo un mayor impacto, ya que este avance reduce costos de fabricación a largo plazo, sin embargo, presenta problemas por factores humanos que impiden el desarrollo autónomo del manejo de procesos a gran escala [2]

La industria global, al ver una necesidad sobre continuar con el abastecimiento de productos, desarrolló sistemas robóticos que permiten ejecutar las actividades remotamente reduciendo métodos manuales. Sin embargo estos métodos avanzados aún presentan problemas por la falta de orientación sobre la programación que muchas veces termina en problemas de gran alcance, generando el cierre parcial de un área de trabajo [3]. La política industrial se convirtió en algo muy importante para varios países del mundo que consideran a la industrialización como algo fundamental para

potenciar las actividades de trabajo y corregir varias de las debilidades más comunes como el manejo de recursos de una empresa y recorridos de material [4].

En América Latina surgieron diversos problemas en relación a las principales industrias del sector textil, curtiembre, automotriz, entre otras, siendo estas las que aportan en mayor medida, las economías de países como Brasil y México. Esto debido a que cerraron durante un tiempo prolongado las instalaciones que no contaban con nuevas tecnologías para la producción y realización de los procesos productivos con elementos asociados a la industria 4.0 [5].

En la actualidad, la sociedad busca la tecnificación masiva que permita la solución a los problemas comunes como es el manejo de materia prima alrededor de la planta, por lo que, se tiene la necesidad de alcanzar el desarrollo que permita modificar condiciones de trabajo que cubran con la necesidad de una empresa. Por ello, son mayores los temores y discrepancias que se dan en relación a la utilización de la Inteligencia artificial (IA), este tema es el punto clave de discusión en relación a las propuestas novedosas de aplicación de métodos modernos de trabajo. Ya que estos métodos continúan en desarrollo y aún no son implementados debido a graves problemas sobre el sector de la cadena de suministro que parte de la movilización de productos en una empresa. Siendo muy temprano el manejo de esta herramienta tecnológica por problemas que impiden una adecuada introducción de esta industrialización, la misma que parte de actividades de nivel bajo que requiere escalabilidad a gran nivel [6].

En los países en desarrollo, se destinaron varios recursos económicos para los centros de educación superior para brindar capacitaciones y una infraestructura adecuada para la investigación de manera innovadora y la ejecución de sistemas automatizados, incluido el análisis de datos, la IA, IoT y lo demás relacionado a la industria 4.0 [7].

En el Ecuador, teniendo en cuenta el poco uso de tecnologías de comunicación e IA en la industria, existe un estado precario de las mismas en procesos de paletizado y clasificado de elementos, dificultando la prevención de errores presentados. Un factor determinante para regirse a esta información es la relación entre los costos de implementación de estos sistemas y el desconocimiento de las mejoras que se producen a corto y largo plazo [8].

En el ámbito educativo, el manejo de procesos industrializados requiere un alto nivel de aprendizaje práctico la implementación o manejo de dichas tecnologías surgiendo así la importancia de la aplicación de sistemas robotizados en estaciones de bajo coste y con utilización de tecnologías de la industria 4.0 para el aprendizaje de los estudiantes al realizar prácticas en estaciones robóticas con inteligencia artificial.

1.2 Antecedentes investigativos

Los avances tecnológicos son relativos al conocimiento del campo de la robótica y la necesidad de las soluciones frente a problemas de la humanidad resaltando que la clave está en determinar los objetivos que permitan reducir las cargas o actividades de gran dificultad. Abordar el conocimiento científico conlleva teorizar y plantear diagramas abstractos que tienen por objeto materializar elementos como herramientas o equipos que influyan en la realidad industrial proveniente del último siglo con el fin de mejorar las condiciones de un ambiente laboral. Desde esta perspectiva, incluir a la robótica en el sector industrial permite readecuar el trabajo y transformación de la materia prima de forma que se optimice los recursos de una planta y se aumente la productividad de un área de trabajo [9].

El auge de la Inteligencia Artificial en diversas disciplinas del sector industrial fue el pilar fundamental de las grandes industrias ya que permite dimensionar un trabajo en tiempos muy reducidos a los normales, además, al modificar los fenómenos que llegan a producir riesgos se ven reducidos en función de la sustitución de máquinas por las tecnologías manejadas por un operario o que a su vez se manejan bajo un controlador autónomo que permita orientar el desarrollo de tareas con las medidas programadas en una jornada de trabajo [10]. Tradicionalmente, los equipos se controlaban manualmente y en el lugar de trabajo, sin embargo, diversos factores industriales y la competencia entre las grandes industrias ha obligado a que se modifique la tecnología para mejorar los parámetros de desarrollo en el empleo de producción en cadena [11].

Un sistema de control inalámbrico con el Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP) entre Robotino, Brazo Robótico y la Mesa de trabajo para realizar un proceso de

paletización, en este proyecto se implementó un sistema inalámbrico entre un brazo robótico y una mesa de trabajo para realizar procesos de paletización, esto se realizó con la utilización de un Controlador Lógico Programable (PLC) para la programación de secuencias necesarias y sensores para la detección de objetos, este primer sistema consta de un tablero de control con un PLC con el cual por medio de un router de comunicación inalámbrica aplicando el protocolo de comunicación UDP se relacionan con el brazo robótico, el cual envía señales si los sensores inductivos ubicados en diferentes partes de la mesa de trabajo detectan algún tipo de objeto, el brazo robótico se dirige hacia los puntos estipulados, recoge el objeto y lo lleva al pallet de salida y el proceso se repite, a este proceso se le implementó una interfaz hombre maquina (HMI) utilizando OPC Server el mismo que permite universalizar variables y establecer la comunicación con LabVIEW y TIA PORTAL, para la validación se realizó en total un número de 21 pruebas de las cuales 18 fueron exitosas [9].

La implementación de un sistema SCADA para célula robótica de paletizado, en este proyecto se utiliza un robot UR3 conectado a su caja de control para poder alimentar el brazo robótico y a su vez el control y monitorización, además de poder interconectarlo con sensores y actuadores por medio de sus borneras de entradas y salidas, por ultimo una función para poder comunicar al robot con el mundo exterior gracias a un protocolo de comunicación Modbus sobre TCP/IP para un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), de esta manera el robot podrá entregar información sobre variables y permitiendo la comunicación de los controladores, este sistema tendrá monitoreo en tiempo real, se podrá manipular a la distancia y adquirir información para su continuo proceso de producción industrial, además se piensa en una solución en dos lenguajes de programación y entorno distinto como es el software Indusoft Web Studio para el sistema SCADA puro y el software MATLAB [10].

Sistema inteligente para Control y Monitorización de una estación robótica usando Motion Control y Visión Artificial, en este proyecto se diseña y se pone en funcionamiento un robot de tipo cartesiano didáctico de paletizado de bajo costo para el aprendizaje de las nuevas tecnologías e inteligencias aplicadas a la industria, para el desarrollo se utilizó diversas plataformas de arquitectura y programación como Motion Control, LabVIEW, PLC, HMI, visión artificial. El sistema consta de una clasificación

por visión artificial y reconocimiento de colores para la posterior ubicación en la cinta transportadora, la cual se moviliza por una señal enviada por el sensor al PLC, el procesamiento de datos se realiza mediante OPC y la comunicación de LabVIEW y TIA PORTAL, el sistema se opera de manera inalámbrica y se ejecutan pruebas del sistema ofreciendo así una Plataforma robusta, flexible y sobre todo de bajo coste [11].

En este punto es necesario entender que los desarrollos industriales mejoran toda la capacidad de una empresa dedicada al sector manufacturero, siendo este definido como un conjunto de tecnologías digitalizadas para mejorar las cadenas de valor por medio de la integración de máquinas y equipos. Los cuáles sean capaces de procesar datos obtenidos de sensores en tiempo real de forma que este software sea capaz de identificar las líneas de código y evite la pérdida de paquetes de información que se envía y receipta entre las unidades comunicadas entre sí. Estos objetos recurren al empleo del internet y de sistemas cibernéticos manejados en una red local orientada al control de plantas que transforman la materia prima en producto de valor agregado [12], [13].

Diseño de sistemas de control industrial de robots basados en la industria 4.0, esta investigación realizó un sistema de control para un brazo de manipulación Scrobot ER4U. Esto usando un tipo de microcontrolador como es el caso de Raspberry PI la misma que se comunica y relaciona con el manipulador robótico por medio de los bornes de entrada/salida. Para la comunicación se utilizó un software sin ningún costo y libre basado en Debian que es un protocolo de comunicación MQTT que permitirá comunicar el entorno virtual utilizando un software de realidad aumentada Unity 3D con el controlador del brazo robótico. Además, se hace la utilización de la realidad aumentada usando las gafas Meta II para el manejo y entrenamiento del brazo robótico en tiempo real [12].

Propuesta de asistente virtual basado en inteligencia artificial en la integración de un brazo robótico para aplicaciones en la Industria 4.0, este trabajo de investigación tiene como objetivo ofrecer una alternativa a los métodos de interacción y las interfaces de usuario tradicionales. El sistema de asistente virtual inteligente busca mejorar la colaboración y la interacción entre las personas y los dispositivos, máquinas y robots en su entorno. Esto se logra mediante la integración de diversas tecnologías de la

inteligencia artificial, con el fin de ayudar al usuario en el análisis, monitoreo y control de un proceso industrial común. El brazo robótico se utiliza como dispositivo principal para implementar el asistente virtual inteligente, cuyas capacidades y alcances se definen y analizan mediante la simulación de un proceso típico de la industria 4.0 [13].

En este contexto, se entiende que las empresas que se encuentran en el top mundial de ventas y producción a gran escala manejan procesos industriales modernizados que son manejados bajo el empleo de controladores que envían la información para reducir errores permitiendo cubrir la demanda de mercado. Además, se han complementado con el uso de la IA que permite solucionar problemas sin emplear el paro completo de la producción. Al complementar los procesos con el uso de la IA se puede entender que existe una gran diferencia entre la contextualización y la materialización del empleo de tecnologías sobre un área de trabajo siendo este último más eficaz, aunque requiere de inversiones contempladas a alto rango [13].

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Internet de las cosas (IoT)

El internet de las cosas (IoT) es una estructura que se basa en el internet el cual ayuda al intercambio de servicios y bienes entre las redes de cadena de suministro, la misma que tiene un alto impacto en la privacidad y seguridad de los involucrados [9].

La IoT es un sistema interrelacionado de objetos físicos, que conecta de manera automática el hardware, software, la electrónica, entre otros, por medio del intercambio de información con dispositivos en conexión como son los operadores, usuarios o fabricantes [9]. Cada integrante tiene una edificación propia y también la posibilidad de intercambiar datos de manera automática por medio de la red. La IoT aumenta la conectividad del internet mucho más allá que los dispositivos más tradicionales y cuenta con una alta gama de dispositivos, cotidianos y de todo tipo de maquinaria. Todos utilizan internet para la comunicación e interacción con otros dispositivos. En un sistema del internet de las cosas a cada elemento se le provee de un identificador único universal (UUID) de sus siglas en inglés, lo cual permite que se

identifique sin equivocaciones y se pueda reconocer de manera simple y fácil para recuperar y enviar cualquier información relevante en el sistema [10].

Otro aspecto importante del sistema es la tecnología, tanto de hardware como de software, que puede comunicar de forma segura información relevante con los distintos dispositivos que componen la red. Esta tecnología puede determinar dónde se envía cada mensaje y la ubicación del dispositivo receptor. La información se entrega de la manera más eficiente, lo que puede depender de la seguridad, la velocidad, la calidad de la conexión, etc. De esta manera, se pueden crear sistemas eficientes y rentables [11].

1.3.2 Pirámide de Automatización

Es una representación gráfica de los distintos niveles de automatización de una organización, y es una buena forma de dar sentido a todo lo complejo que es el sistema de una fábrica [12]. En la Figura 1 se presentan los niveles de automatización, los dispositivos que caracterizan cada nivel en la pirámide y los tiempos aproximados de respuesta que dan cada uno de ellos.

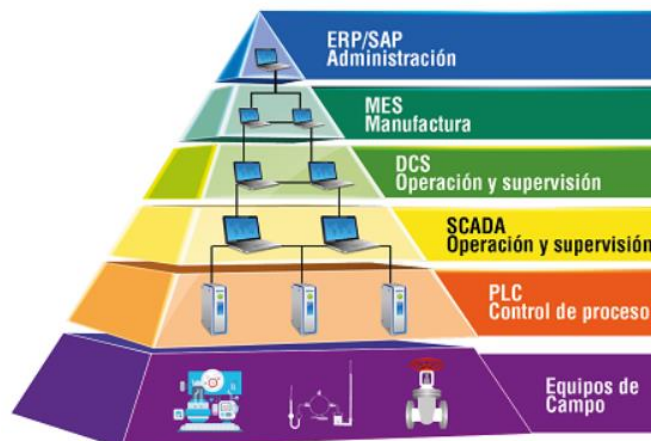


Figura 1. Pirámide de la automatización [12]

a. Primer nivel

Es el nivel más básico de automatización, conocido como nivel de campo, está compuesto por sensores, actuadores y otros componentes físicos. Estos elementos se encargan de recopilar los datos del proceso a través de los sensores y controlar los

actuadores. Estos dispositivos de campo interactúan entre sí para llevar a cabo sus funciones [12].

b. Segundo nivel

Este nivel está conformado por máquinas que intervienen en el proceso de producción de manera individual, por ende, desde el punto de vista de la automatización, en este punto se ubican los PLC's, los robots y computadores industriales, sistemas de control numérico, entre otros [12].

c. Tercer nivel

Este nivel alberga los sistemas SCADA y las interfaces hombre-máquina (HMI). Aquí se monitorean y controlan los datos del proceso mediante interfaces de usuario, los cuales son almacenados en una base de datos. El sistema SCADA se emplea comúnmente para controlar diversas máquinas en procesos altamente complejos, incluyendo aquellos que involucran múltiples ubicaciones. Una diferencia con respecto al nivel anterior es que el SCADA se utiliza con frecuencia para establecer valores en el nivel de control [12].

d. Cuarto nivel

Este nivel implica la supervisión integral del proceso de producción en una planta o fábrica, abarcando desde la materia prima hasta el producto final. Esto permite obtener una visión completa de lo que está ocurriendo en el proceso y permite a la gerencia tomar decisiones basadas en la situación actual y la información disponible. Se pueden realizar ajustes en los pedidos de materias primas y en la cantidad de productos enviados en base a la información real obtenida del sistema. Para este nivel, es común utilizar un sistema informático de gestión conocido como MES (*Manufacturing Execution System*) [12].

e. Quinto nivel

El nivel de gestión integrada o planificación de recursos de la empresa (ERP) permite a la alta dirección tener una visión y control de las operaciones de la empresa. El ERP, compuesto por diversas aplicaciones informáticas, permite observar todos los aspectos

que suceden en la fábrica. A diferencia del MES, que se encarga de controlar y supervisar una planta en particular, el ERP proporciona supervisión, informes y control a toda la organización [12].

f. Sexto nivel

Este nivel de la automatización industrial es la nube, que forma parte de la transformación digital de la planta. En este nivel, los datos recopilados en los niveles anteriores pueden enviarse a aplicaciones o un conjunto de datos compartidos. Esta etapa marca el punto de inflexión hacia la excelencia operativa conocida como Industria 4.0 [12].

1.3.3 Sistema SCADA

El término SCADA se refiere a un sistema utilizado para supervisar y controlar equipos industriales en diversas etapas de un proceso. Proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, también conocidos como RTU (Remote Terminal Unit), que pueden incluir controladores autónomos o autómatas programables, y un Centro de Control o Unidad Central (MTU, *Master Terminal Unit*), desde donde se controla automáticamente el proceso a través de la pantalla de una o varias computadoras [13].

La estructura funcional de un sistema de visualización y adquisición de datos suele seguir la estructura Maestro-Esclavo. La estación central, conocida como el maestro o master, se comunica con las demás estaciones, llamadas esclavos o slaves, solicitando una serie de acciones o datos de ellas. Una de sus funciones principales es examinar, recopilar y procesar datos en tiempo real. Se compone de dos partes esenciales: la transmisión de datos en el campo, donde se encuentran los PLC's que interactúan con los sensores y actuadores del proceso y; la interacción con el usuario a través de HMI (Interfaces Hombre-Máquina) [13], la Figura 2, muestra la estructura sobre el manejo de un sistema SCADA en la industria.

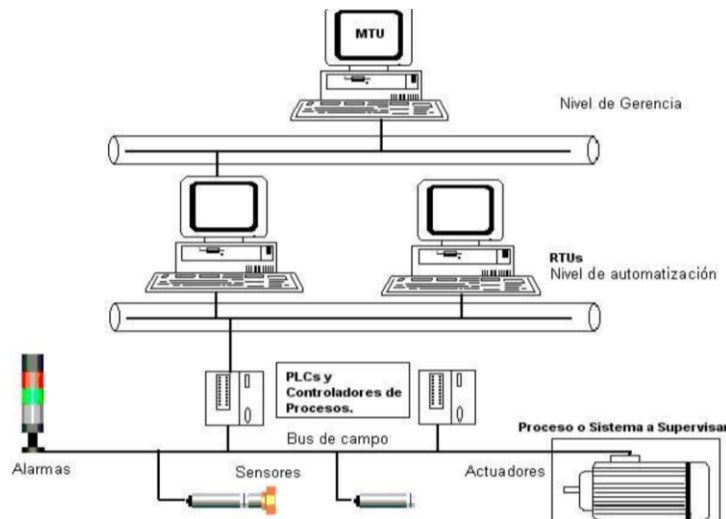


Figura 2. Estructura básica de un sistema SCADA [13]

Los HMI facilitan la comunicación entre el SCADA y los dispositivos de campo, brindando al operario una herramienta para monitorear y controlar el proceso en tiempo real. Además de estas funciones, posee una gestión de base de datos eficiente con tiempos de acceso reducidos, lo cual permite el registro histórico de los datos. A esto se agrega que también es capaz de transmitir la información recopilada tanto a dispositivos de campo como a otros ordenadores personales (PC's) a nivel local o remoto [14].

1.3.4 Componentes de hardware

a. *Master Terminal Unit (MTU)*

Es una parte clave de un sistema SCADA y se utiliza para la supervisión y el control remoto de dispositivos y procesos en un sistema industrial. Es responsable de recopilar datos en tiempo real de los dispositivos y sensores distribuidos en el campo, y luego enviar esos datos a una estación de control central, donde se procesan y se toman decisiones [15].

La MTU actúa como el punto de comunicación principal entre el sistema SCADA y los elementos conectados a él. Recopila datos a través de diferentes protocolos de comunicación, como Modbus, DNP3, OPC, TCP/IP, entre otros, y los transmite al

sistema SCADA para su visualización y análisis. Además de la recopilación de datos, la MTU también puede enviar comandos y señales de control a los dispositivos en el campo. Esto permite a los operadores controlar y supervisar de forma remota equipos actuadores [16].

b. Remote Terminal Unit (RTU)

Las Unidades Remotas son responsables de recopilar los datos de los dispositivos en el campo, como los Autómatas Reguladores, y transmitirlos a la Unidad Central. También se encargan de enviar comandos de control, y se conocen como Procesadores de Comunicaciones. Por lo general, se utilizan computadoras especializadas en estas Unidades Remotas, las cuales controlan directamente el proceso mediante tarjetas convertidoras adecuadas. Estas tarjetas se comunican con los elementos de control, como PLC y Reguladores, a través de los protocolos de comunicación correspondientes. La construcción de estas Unidades Remotas es más robusta en comparación con las computadoras convencionales. Son capaces de funcionar en rangos de temperaturas más amplios y tienen una mayor resistencia eléctrica, lo que les permite hacer frente a transitorios de red, variaciones de alimentación e interferencias electromagnéticas [17].

1.3.5 Redes de comunicación

Las redes industriales se caracterizan por su amplia distribución y la variabilidad en varios aspectos, como la capa de enlace, los protocolos de red y la topología utilizada. En contraste, en las redes comerciales, las redes Ethernet y TCP/IP son ampliamente utilizadas y se aplican diversas topologías, como estrella, árbol e incluso malla completa. La presencia generalizada de Ethernet y TCP/IP los convierte en el elemento de conexión esencial que interconecta otros sistemas SCADA y de control industrial. En las redes de sistemas de control industrial y SCADA, se pueden emplear diferentes topologías, como bus, anillo, estrella y árbol, según el tipo específico de proceso de control en funcionamiento y los protocolos específicos utilizados [18], la Figura 3, muestra los distintos protocolos de comunicación a nivel industrial.

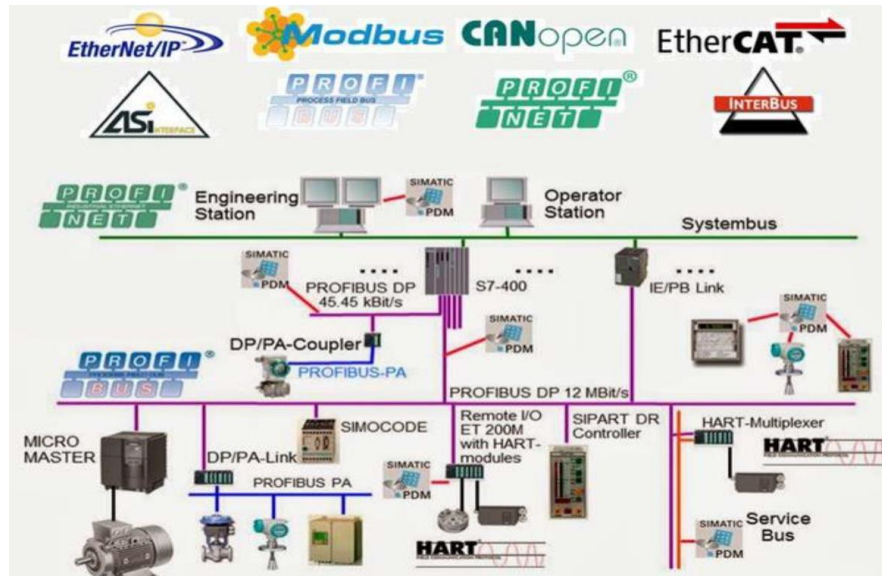


Figura 3. Redes de comunicación industrial [18]

1.3.6 Dispositivos de campo

Los dispositivos de campo son responsables de recopilar información en tiempo real sobre variables físicas, como temperatura, presión, flujo, nivel, entre otros. Estos datos son adquiridos y transmitidos al sistema SCADA central para su visualización, análisis y toma de decisiones [19].

Algunos dispositivos de campo comunes en un sistema SCADA incluyen:

a. *Sensores*

Detectan y miden variables físicas o químicas, como sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de nivel, sensores de flujo, sensores de vibración, entre otros [19].

b. *Transductores/Transmisores*

Convierten las señales físicas en señales eléctricas o digitales para su transmisión. Por ejemplo, los transductores de presión convierten la presión medida en una señal eléctrica que se puede enviar al sistema SCADA [19].

c. *Actuadores*

Son dispositivos que realizan acciones físicas en respuesta a las instrucciones del sistema SCADA. Por ejemplo, válvulas de control que se abren o cierran para regular el flujo de un líquido [19].

1.3.7 Protocolos de comunicación

a. Protocolo de comunicación industrial MODBUS

MODBUS es un protocolo de comunicación que se utiliza para intercambiar solicitudes y respuestas entre dispositivos conectados a una red. Los datos se organizan en tramas en los dispositivos MODBUS. Este protocolo opera a nivel de capa de aplicación y requiere ser utilizado junto con una pila de protocolos que determine el tipo de red a utilizar [20].

Existen tres tipos de MODBUS según la arquitectura de protocolo utilizada: RTU, ASCII y TCP/IP. Los dispositivos controladores pueden configurarse para comunicarse en la red MODBUS estándar utilizando estos modos: RTU, ASCII y TCP/IP. Para los modos ASCII o RTU, que utilizan puertos y parámetros de comunicación serie (baud rate, modo de paridad, etc.), se deben configurar los mismos parámetros en todos los dispositivos de la red MODBUS. Del mismo modo, cuando se utiliza MODBUS TCP/IP, las direcciones IP, el puerto de comunicación TCP y el ID de esclavo deben coincidir entre los dispositivos [21].

En resumen, MODBUS es un protocolo que se utiliza para intercambiar datos entre dispositivos en una red. Existen diferentes modos de configuración, como RTU, ASCII y TCP/IP, que determinan cómo se realiza la comunicación. Los parámetros de comunicación deben estar sincronizados entre los dispositivos para garantizar una comunicación efectiva en la red MODBUS [16].

b. Protocolo de comunicación industrial PROFINET

Es un protocolo de comunicación que permite el intercambio de datos entre controladores y dispositivos, por medio de cables ethernet y se basa en estándares TCP/IP y PROFIBUS DP. En entornos industriales es el más utilizado gracias a la velocidad de procesamiento de información de los procesos y la facilidad de conexión [22], [23].

Una red PROFINET consta de tres componentes:

- **Controladores (I/O Controller).** Envían datos a los dispositivos, acceden y procesan información del proceso, por ejemplo, el PLC [24].
- **Dispositivos (I/O Device).** Son instrumentos que reciben la información de los controladores, son bloques de E/S [24].
- **Supervisores (I/O Supervisor).** Son elementos que permiten configurar los parámetros del sistema, diagnosticar es estado de los dispositivos y monitorear el proceso [24].

Además, este protocolo puede utilizar tres canales de comunicación como lo son:

- **TCP/IP.** Comunicación basada en internet para transmitir grandes cantidades de información [23].
- **PROFINET RT.** Salta las capas TCP/IP, que permite aumentar la velocidad de transmisión en un tiempo de 1 a 10 ms [23].
- **PROFINET IRT.** Permite la sincronización en aplicaciones de alta precisión [23].

Este estándar de comunicación presenta una gran cantidad de características, lo cual hace que su uso en procesos industriales sea frecuente, además se puede mencionar las siguientes ventajas:

- Uso simultáneo de los tres canales de comunicación.
- Fácil reemplazo de dispositivos de campo.
- Dispositivos compartidos.

- Manejo de alto ancho de banda.
- Versátil, debido al estándar ethernet.
- Intercambio de información veloz y precisa.
- Oportunidad de expansión.
- Fácil acceso a la red.
- Sus equipos son robustos, veloces y precisos.

c. Protocolo de comunicación OPC

La tecnología de comunicación OPC (Open Platform Communications) tiene una arquitectura Cliente – Servidor. Teniendo un software que actúa de servidor para enviar datos y otra aplicación recibe y manipula esa información, permitiendo que el intercambio de información entre dispositivos y aplicaciones de control y monitoreo sea libre y sin restricciones de los fabricantes. Es decir, un OPC Server comunica continuamente PLC, RTU y HMI simultáneamente sin importar que software y el hardware sean de distintos proveedores. En la actualidad, los OPC Servers tienen la capacidad de adquirir cientos de protocolos distintos y enviarlos mediante OPC DA y OPC UA, que son protocolos basados en la red [25].

1.3.8 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un PLC es un dispositivo computarizado utilizado en la ingeniería automática o automatización industrial. Su objetivo es automatizar procesos electromecánicos, como el control de maquinaria en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Según la definición de la NEMA (National Electrical Manufacturers Association), un PLC es un instrumento electrónico que utiliza memoria programable para almacenar instrucciones que implementan diversas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control de módulos de entrada/salida analógicos o digitales en diferentes tipos de procesos [26].

a. Arquitectura del PLC

Los controladores lógicos programables tienen la siguiente estructura:

- Unidad de procesos central (CPU).
- Memorias de programación (RAM, EPROM, EEPROM).
- Periféricos de control de E/S.
- Dispositivos de entradas / salidas.

En la Figura 4, se muestra la arquitectura de un PLC, en donde, se cuenta con varios componentes que facilitan el manejo de la automatización en la industria.

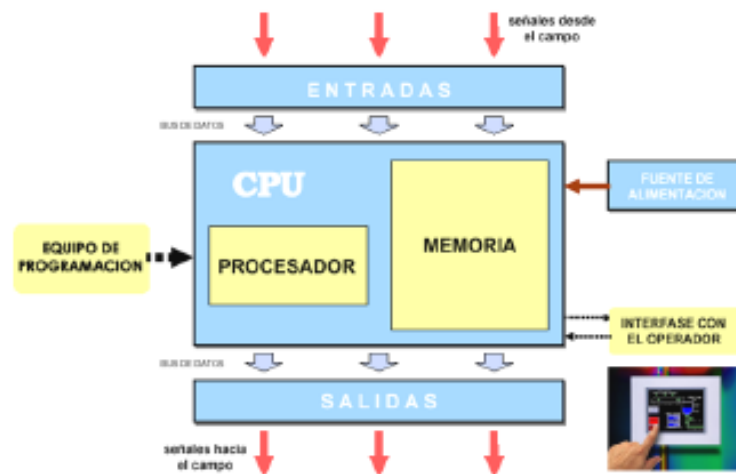


Figura 4. Arquitectura de un PLC

b. Características del PLC

- Posee hasta 3 tipos de lenguajes de programación (AWL, KOP, FUP).
- Existen PLC's modulares y compactos.
- Admiten distintos tipos de comunicaciones industriales.

c. Funciones del PLC

Los PLC's son capaces de realizar múltiples funciones simultáneamente. Algunas de las funciones destacadas son las siguientes:

- **Detección.** Lectura de las señales de los sensores distribuidos en el sistema de fabricación [26].
- **Control.** Elaboración y envío de acciones al sistema mediante actuadores [26].
- **Interfaz hombre-máquina.** Comunicación con los operarios para seguir sus instrucciones y proporcionar información sobre el estado del proceso [26].
- **Programación.** Desarrollo y modificación del programa de aplicación del PLC, incluso durante su funcionamiento en la máquina [26].

La constante evolución de hardware y software mejora continuamente estos dispositivos y amplía su campo de aplicación para satisfacer las necesidades detectadas en el ámbito de las posibilidades reales [26].

1.3.9 Normativa Vigente

En el desarrollo de proyectos de automatización, es necesario incorporar normativas que formen parte de la documentación de sistemas automatizados, la cual incluye una variedad de elementos que representan el proceso [27]. Estas normativas sirven como guía para diseñar y seleccionar de manera adecuada los equipos y materiales del sistema a controlar.

Los sistemas automatizados están compuestos por equipos mecánicos, eléctricos, electrónicos y tecnologías de la información [27]. Para regular estos sistemas, existen normas oficiales establecidas por diversas instituciones, las cuales se presentan a continuación:

a. ANSI (American National Standards Institute)

En la industria abarca una amplia gama de estándares y normas técnicas que se aplican en diversos sectores industriales. Estos estándares tienen como objetivo mejorar la calidad, la seguridad, la interoperabilidad y la eficiencia en la industria, y abordan diferentes aspectos relacionados con los productos, procesos y prácticas utilizados en este sector [28].

b. ISA (International Society of Automation)

Es una organización global sin fines de lucro dedicada a la promoción y desarrollo de estándares y prácticas en el campo de la automatización industrial y la instrumentación. La ISA se centra en proporcionar recursos y conocimientos técnicos para mejorar la eficiencia, seguridad y confiabilidad de los sistemas y procesos en la industria [29].

c. ISO (International Organization for Standardization)

Es una organización internacional independiente y no gubernamental que desarrolla y publica normas reconocidas a nivel mundial en una amplia gama de áreas. Estas normas están diseñadas para promover la estandarización, la calidad, la seguridad y la eficiencia en diversos sectores y actividades [30].

d. IEC (International Electrotechnical Commission)

Es una organización internacional que establece estándares y normas técnicas en el campo de la electricidad, la electrónica y las tecnologías relacionadas. La IEC desarrolla y publica normas que abarcan una amplia gama de áreas, desde la generación y distribución de energía eléctrica hasta la seguridad de los productos electrónicos y la compatibilidad electromagnética [31].

La Tabla 1, muestra la clasificación de diversas normas para el desarrollo de sistemas de automatización.

Tabla 1. Normas de automatización industrial [31]

Norma	Descripción
Norma ANSI/ISA-5.1	Esta norma establece las convenciones y símbolos gráficos utilizados para representar dispositivos, equipos y sistemas de control en la industria.
Norma ANSI/ISA-95.00.01	Esta norma aborda la integración de sistemas de control de nivel empresarial y sistemas de control de nivel de planta, proporcionando un conjunto común de modelos y terminología para facilitar la comunicación y la interoperabilidad entre estos sistemas.
Norma ISO 13850	Esta norma se centra en la parada de emergencia de las máquinas y establece los principios de diseño y requisitos para garantizar una parada rápida y segura en situaciones de emergencia.
Norma IEC 61131-3	Es un conjunto de estándares internacionales ampliamente utilizados en la industria eléctrica y de automatización industrial para garantizar la interoperabilidad, la seguridad y la eficiencia en los sistemas industriales.

1.3.10 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Un HMI, conocido como "Interfaz Hombre-Máquina", es un dispositivo o sistema que posibilita la comunicación entre una persona y una máquina. La principal función de los HMI es mostrar información en tiempo real de manera visual y comprensible, brindando significado y contexto sobre un dispositivo programado, así como parámetros de un proceso específico. Estos sistemas también suministran información operativa al proceso y permiten el control y la optimización de los objetivos de producción. Los HMI son utilizados en diversas aplicaciones para garantizar un funcionamiento confiable de la tecnología. Las pantallas HMI se emplean en la optimización de procesos industriales al digitalizar y centralizar los datos [20], la Figura 5. Pantalla HMI marca Xinje [20]Figura 5, muestra un modelo de interfaz gráfica de un proceso.



Figura 5. Pantalla HMI marca Xinje [20]

1.3.11 Sensores

Los sensores son dispositivos que permiten la medición de variables en el entorno. Existen diferentes tipos de sensores, los cuales se clasifican según la variable física o magnitud que miden, pudiendo ser una variable digital o analógica [32].

a. *Características de los sensores*

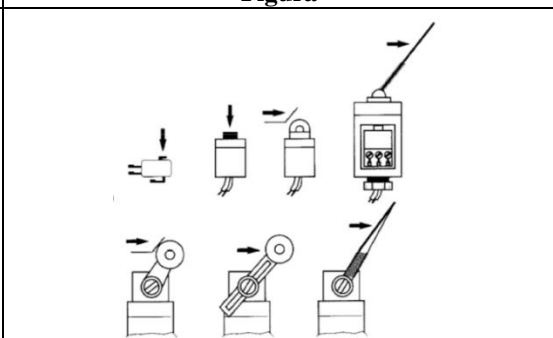
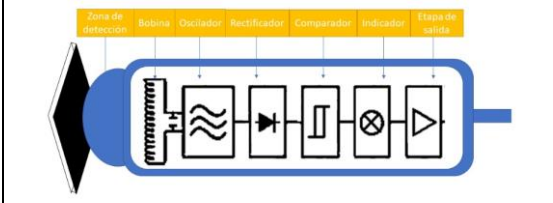
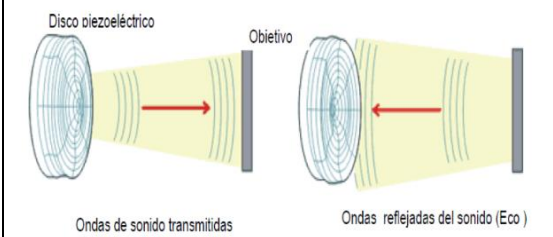
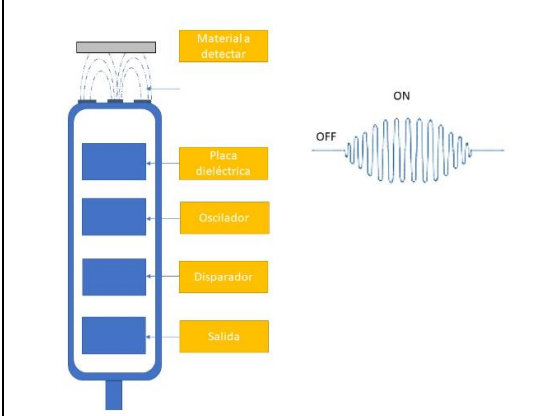
- **Rango de medición.** Intervalo de valores del objeto físico (X) que puede ser medido por el sensor [32].
- **Sensibilidad.** Relación entre el cambio en la salida (Y) y el cambio correspondiente en la entrada (X.) [32].
- **Resolución.** El menor cambio en X que puede ser detectado en Y [32].
- **Umbral.** El valor mínimo de X necesario para que la salida (Y) sea distinta de cero [32].
- **Precisión.** El máximo error esperado en las mediciones (si el sensor es preciso, el error relativo entre diferentes mediciones será pequeño) [32].
- **Exactitud.** La diferencia entre el valor real de X y el valor medido de Y (si el sensor es exacto, la medida de Y estará cerca del valor real de X) [32].
- **Repetitividad.** La máxima variación entre las salidas obtenidas al medir varias veces la misma entrada utilizando el mismo sensor y bajo las mismas condiciones ambientales [32].
- **Linealidad.** La relación proporcional entre X e Y [32].
- **Histéresis.** Diferentes valores de Y para un mismo valor de X dependiendo de si X está aumentando o disminuyendo [32].
- **Velocidad de respuesta (tiempo de subida / de retardo).** La capacidad del sensor para seguir la señal de entrada sin retraso [32].

- **Respuesta en frecuencia.** La capacidad del sensor para seguir las variaciones de la señal de entrada a medida que aumenta la frecuencia [32].

b. Tipos de sensores

A continuación, la Tabla 2, muestra la distribución de sensores existentes en el ámbito industrial.

Tabla 2. Tipo de sensores en el sector industrial [33]

Sensor	Descripción	Figura
Sensores de acción mecánica	Hay interruptores que se activan mediante contacto físico y aplicando la suficiente fuerza en una parte específica, como una palanca.	
Sensores inductivos	Un sensor inductivo es un dispositivo utilizado para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos cerca de su campo de detección.	
Sensores ultrasónicos	Estos sensores utilizan ultrasonidos, señales sonoras de frecuencia superior a lo que el ser humano puede escuchar (20 kHz).	
Sensores capacitivos	Estos sensores utilizan la interacción entre el objeto a detectar y el campo electrostático generado por el propio sensor.	

Sensor	Descripción	Figura
Sensores optoelectrónicos	Este tipo de sensores consisten en un emisor y un receptor. El emisor genera un haz de luz (infrarroja) y el receptor recibe o no el haz de luz.	

1.3.12 Actuadores

Los actuadores desempeñan la función de transformar las señales eléctricas del sistema de control en acciones físicas dentro del proceso. Entre los actuadores más comunes se encuentran los actuadores de flujo, como válvulas, bombas y ventiladores, que regulan el paso de fluidos. También se utilizan actuadores que generan movimientos en objetos o partes de maquinaria, como cilindros neumáticos e hidráulicos, así como motores eléctricos. Estos actuadores son fundamentales para llevar a cabo las acciones finales requeridas en el proceso controlado [21].

a. Características




- **Precisión:** Los actuadores eléctricos pueden lograr una alta precisión en el posicionamiento y control del movimiento. Esto es especialmente importante en aplicaciones que requieren una exactitud milimétrica [21].
- **Velocidad:** Estos actuadores pueden alcanzar altas velocidades de movimiento, lo que permite una mayor eficiencia y productividad en los procesos industriales [21].
- **Control:** Los actuadores eléctricos son altamente controlables, lo que significa que se pueden ajustar y programar con precisión para adaptarse a diferentes condiciones y requisitos de aplicación. Se pueden utilizar controladores electrónicos para regular la velocidad, el torque y la posición del actuador [21].
- **Fiabilidad:** Los actuadores eléctricos tienden a ser más confiables que otros tipos de actuadores, ya que no requieren de componentes mecánicos complejos

como bombas o compresores de aire. Además, suelen tener una vida útil más larga y requieren menos mantenimiento [21].

b. Actuadores eléctricos

Existen varios tipos de actuadores eléctricos utilizados en la automatización industrial, cada uno con características y aplicaciones específicas [21]. A continuación, la Tabla 3, muestra la clasificación de los actuadores eléctricos.

Tabla 3. Tipo de actuadores eléctricos [21]

Actuador eléctrico	Descripción	Figura
Actuadores lineales	Hay interruptores que se activan mediante contacto físico y aplicando la suficiente fuerza en una parte específica, como una palanca.	
Actuadores lineales rotativos	Estos actuadores combinan el movimiento lineal y rotativo en un solo dispositivo.	
Actuadores rotativos	Estos actuadores generan movimiento de rotación y se utilizan para accionar sistemas que requieren movimiento angular.	

c. Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son dispositivos ampliamente utilizados en la automatización industrial debido a su simplicidad, confiabilidad y capacidad para generar fuerza y movimiento. Estos actuadores convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico, lo que los hace ideales para una variedad de aplicaciones en la industria [33].

Existen varios tipos de actuadores neumáticos utilizados en automatización industrial, siendo los más comunes los cilindros neumáticos y los motores neumáticos de aire.

- **Cilindros neumáticos.** Los cilindros neumáticos son los actuadores más comunes y se utilizan para generar movimiento lineal en aplicaciones como el transporte de objetos, el accionamiento de puertas, compuertas y el ensamblaje automatizado [33].

Funcionan mediante la entrada de aire comprimido en una cámara del cilindro, lo que empuja un émbolo o pistón hacia adelante o hacia atrás, generando movimiento lineal [33].

Los cilindros neumáticos pueden ser de acción simple, donde el aire se aplica solo en un lado del pistón para generar un movimiento en una dirección, o de doble acción, donde el aire se aplica en ambos lados del pistón para generar movimiento en ambas direcciones [33].

Los cilindros neumáticos ofrecen una alta velocidad de operación, buena capacidad de carga y una larga vida útil. Además, son fáciles de mantener y reparar [33].

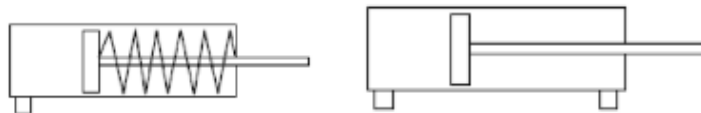


Figura 6. a) Cilindro neumático de simple efecto, b) Cilindro de doble efecto

- **Motores neumáticos.** Los motores neumáticos son actuadores rotativos que se utilizan para generar movimiento circular en aplicaciones como la rotación de válvulas, el accionamiento de tornillos y la operación de transportadores.

Funcionan mediante la entrada de aire comprimido en el motor, que se expande y genera una fuerza de rotación en un eje.

Los motores neumáticos ofrecen una alta velocidad de rotación y una buena capacidad de torque. Son adecuados para aplicaciones que requieren un movimiento rápido y un par de torsión moderado.

Estos motores también son reversibles, lo que significa que pueden girar en ambas direcciones según la dirección del flujo de aire.

Al igual que los cilindros neumáticos, los motores neumáticos son fáciles de mantener y reparar [33].

Los actuadores neumáticos tienen varias ventajas en la automatización industrial. Además de su simplicidad y confiabilidad, son adecuados para entornos hostiles y explosivos, ya que no generan chispas eléctricas y no son afectados por la humedad o la suciedad [33].

1.3.13 Robótica industrial

Algunos de los pilares de la cuarta revolución industrial son la robótica industrial y la automatización. El objetivo es aumentar significativamente la productividad, utilizar los recursos de manera eficiente y reducir los errores en la cadena de producción, liberando a los trabajadores de tareas repetitivas o peligrosas. Por esta razón desaparecen puestos de trabajo de bajo valor añadido, creando puestos de trabajo que requieren de personas más cualificadas y de la colaboración hombre-máquina, por lo que es un tema controvertido.

La robótica industrial es una rama de la ingeniería que se ocupa de la definición, diseño, desarrollo y producción de robots industriales que automatizan el trabajo humano, es decir, realizan actividades y tareas de forma más rápida en cadenas de producción industrial o de manufactura, sea preciso, no descansa y evita el peligro para las personas [34].

Los robots realizan tareas repetitivas y peligrosas con mayor precisión que los humanos, lo que da como resultado una mayor calidad de producción o fabricación. Al ser máquinas que trabajan incansablemente, pueden producir más con menos, por lo que la productividad aumenta exponencialmente [35].

a. Robots industriales

En la actualidad, los robots son indispensables en la producción industrial, ya que superan ampliamente el rendimiento humano en muchas tareas. Esto incluye labores que implican el manejo de cargas pesadas o la ejecución de acciones a alta velocidad. Además, los robots industriales han contribuido en gran medida a reducir los

accidentes laborales, ya que ahora se encargan de realizar actividades peligrosas que antes eran realizadas por personas. Por lo tanto, la implementación de un robot industrial en una empresa conlleva la disminución de accidentes laborales, un aumento en la producción y, en consecuencia, mayores ganancias a medio y largo plazo, a pesar de requerir una inversión inicial considerable. Existen numerosos fabricantes destacados de robots industriales, entre ellos se pueden mencionar: ABB, FANUC, KUKA, YASKAWA, EPSON, entre otros [36].

Los robots industriales son dispositivos automáticos que se distinguen por su capacidad de ser reprogramados y realizar diversas tareas complejas. Por lo general, estos robots cuentan con brazos que constan de más de tres ejes, y se destacan por su alta precisión y velocidad de movimiento [35].

- ***Elementos de un robot.*** Un robot se conforma por una serie de eslabones los cuales son elementos del mismo:

- Estructura mecánica
- Transmisores
- Sistema de accionamiento
- Sistema sensorial
- Sistema de control
- Elementos terminales

- ***Tipos de robots industriales.*** Los robots industriales pueden ser categorizados en diferentes grupos según el número de articulaciones o grados de libertad que poseen, así como por características particulares que los hacen más adecuados para procesos industriales específicos. Por lo tanto, al seleccionar un robot industrial, es importante considerar tanto sus ventajas como sus desventajas en comparación con otros competidores. Aspectos como la velocidad de ciclo por minuto y la capacidad de carga son características clave que deben ser cuidadosamente evaluadas [35], la Figura 7, muestra algunos tipos de robots presentes en la industria.

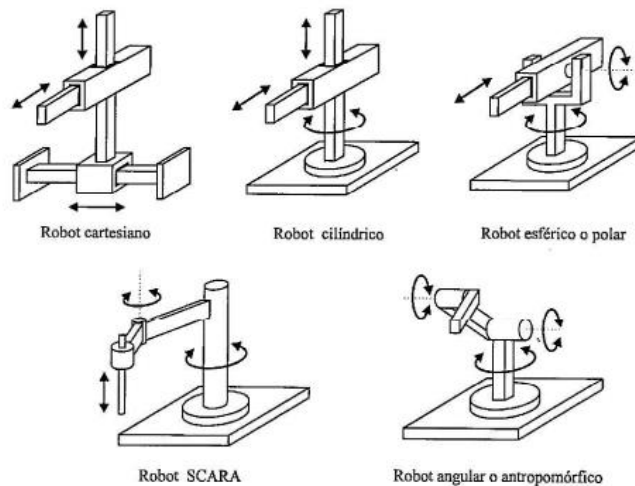


Figura 7. Tipos de robots industriales [35]

b. Robot Epson ProSix VT6-A901S

El brazo robótico Epson ProSix VT6-A901S es un sistema avanzado de manipulación robótica diseñado y fabricado por Epson, una reconocida empresa especializada en soluciones de automatización industrial. Es parte de la serie ProSix, conocida por su precisión, velocidad y versatilidad en aplicaciones industriales [37].

El brazo robótico VT6-A901S consta de seis ejes, lo que le permite un amplio rango de movimiento y flexibilidad para manipular objetos en diferentes direcciones y posiciones. Cada eje está equipado con motores de alta precisión que permiten un control preciso y repetible de los movimientos del brazo. Cuenta con una carga útil máxima de 6 kg, lo que significa que puede levantar y manipular objetos de hasta 6 kg de peso. Esto lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones, como ensamblaje, paletizado, manipulación de materiales, empaquetado y más [37].

La precisión del brazo robótico Epson ProSix VT6-A901S es impresionante, con una repetibilidad de posición de ± 0.02 mm. Esto significa que el brazo puede colocar objetos con una precisión milimétrica, lo que es crucial en aplicaciones donde se requiere una alta exactitud y consistencia. La interfaz de programación del VT6-A901S es intuitiva y fácil de usar, lo que permite a los operadores programar y controlar el brazo de manera eficiente. Además, el brazo está equipado con tecnología de detección de colisiones, lo que garantiza la seguridad y protección tanto de los objetos manipulados como de los operadores. Se destaca por su alta velocidad y

rendimiento. Es capaz de realizar movimientos rápidos y precisos, lo que resulta en ciclos de trabajo eficientes y una mayor productividad en la línea de producción [37].



Figura 8. Brazo robótico Epson ProSix VT6-A901S [37]

1.3.14 Inteligencia artificial (IA)

La IA se basa en los principios del rendimiento inteligente humano, incluyendo el uso del lenguaje, el desarrollo de la inferencia, la comprensión de los fenómenos, el aprendizaje, la percepción, la adquisición, la planificación, ejecución y evaluación de acciones. Por lo general la IA crea algoritmos y mecanismos para que las máquinas piensen como seres humanos, siendo capaces de analizar datos en grandes cantidades, identificar patrones, tendencias y así ejecutar predicciones autónomas de forma precisa y rápida. Estos algoritmos derivan ramas de la inteligencia artificial, teniendo áreas como el reconocimiento visual, procesamiento de lenguaje, redes neuronales y acciones orientadas a un único objetivo [38].

a. Visión artificial (VA)

La visión artificial es una disciplina dentro del campo de la inteligencia artificial que se dedica a analizar y comprender la información visual. Esta rama de estudio se enfoca en el proceso de percepción de imágenes y busca desarrollar programas informáticos capaces de replicarlo. Su flexibilidad y adaptabilidad son beneficiosas para diversos campos y aplicaciones, tales como el reconocimiento de caracteres, la interpretación de imágenes y escenas, la robótica, la medicina, entre otros. En la Figura 9, se presenta el proceso de visión artificial [39].

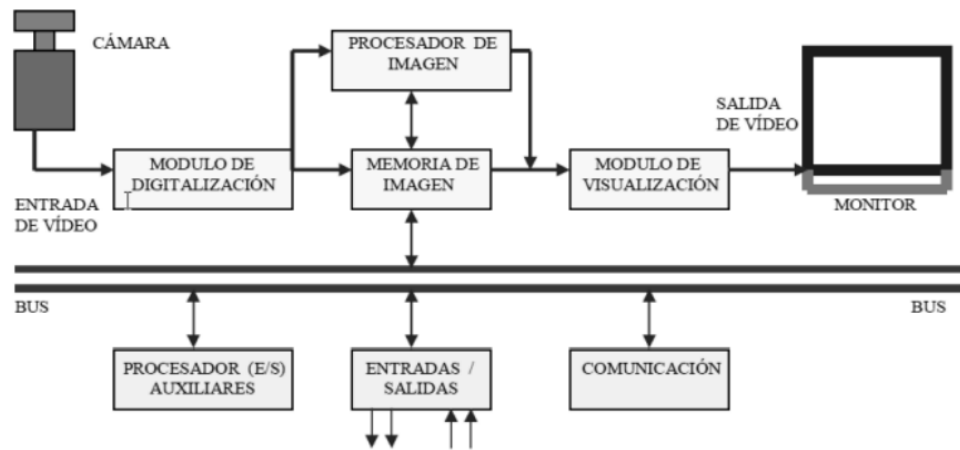


Figura 9. Diagrama de bloques del proceso de visión artificial [39]

- **Etapas de un sistema de visión artificial.** La Figura 10, muestra las etapas de un sistema de visión artificial donde cuenta con distintos eslabones que cumplen un papel importante en el proceso de obtención de datos de una imagen.

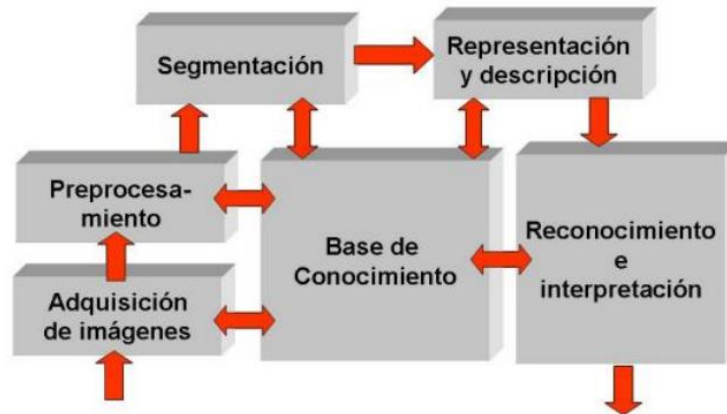


Figura 10. Etapas de un sistema de visión artificial

A continuación, se detalla las etapas de un sistema de visión artificial.

- **Adquisición de imágenes:** La captura de imágenes es el paso inicial en el cual se fundamenta el sistema de reconocimiento de imágenes. A través de factores como la iluminación, la cámara u otros elementos complementarios, se obtienen características mediante procesos de descripción, como el tamaño, la forma, la textura, el color y las sombras. Es de vital importancia contar con un diseño sólido en esta fase inicial para lograr el éxito en la ejecución del reconocimiento de imágenes [40].

- **Reproceso:** El propósito del procesamiento es mejorar la calidad y la información de la imagen capturada utilizando diversas técnicas. De esta manera, se busca resaltar los atributos que serán considerados y establecer las condiciones o parámetros que determinarán si la imagen reconocida es aceptada o rechazada [37].
- **Segmentación:** En esta tercera etapa, se determina qué áreas de la imagen requieren análisis y cuáles no. Esto implica segmentar la imagen capturada, dividiéndola en distintas áreas. Existen varios métodos comunes para llevar a cabo esta etapa, como la umbralización, detección de discontinuidades, crecimiento de regiones, análisis del color o del movimiento, entre otros [40].
- **Representación y descripción:** Una vez que la imagen se ha dividido, se procede a extraer las características relevantes de las diferentes zonas. Estas características pueden ser de naturaleza morfológica, como el área, perímetro, excentricidad, momentos de inercia, esqueletos, textura o color. De este modo, se obtiene información visual más detallada y se seleccionan únicamente las características que son relevantes para nuestro estudio [40].
- **Reconocimiento e interpretación:** Una vez que se ha segmentado la imagen y se han extraído las propiedades necesarias de nuestro objeto de estudio, se realizan varias evaluaciones sobre estas propiedades. El objetivo es determinar si una parte ha sido elaborada correctamente, si el color es el adecuado o si cumple con los parámetros de textura establecidos. Esta interpretación puede llevarse a cabo de diversas formas, mediante la medición de objetos, la detección de formas y áreas, la comparación de patrones o la realización de cálculos, entre otras técnicas. Al finalizar la evaluación, se pueden generar salidas que se activan o no en función de los resultados de las características de la imagen obtenida [40].

b. Modelos de color

En la clasificación de objetos según su color, es necesario abordar modelos matemáticos abstractos que permitan representar los colores de forma numérica. Los principales modelos utilizados son el RGB y el HSL [41].

- **Modelo de color RGB.** En la actualidad, dispositivos como computadoras, teléfonos móviles, cámaras de video y escáneres utilizan parcial o totalmente el modelo RGB para representar colores. RGB es la composición de un color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz.

Este modelo se basa en la síntesis aditiva, lo cual significa que se representa un color mediante la mezcla por adición de los tres colores primarios de luz. El nombre RGB proviene de las iniciales en inglés de los componentes utilizados para formar el color: R (Red) para rojo, G (Green) para verde y B (Blue) para azul, como se indica en la Figura 11[41].

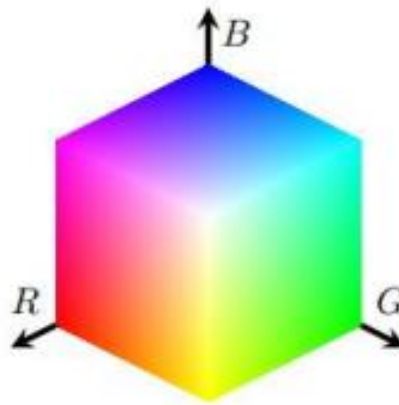


Figura 11. Geometría del espacio de colores RGB [41]

- **Modelo de color HSL.** El término "HSL" proviene de las iniciales en inglés de los componentes que conforman el color: H (Hue) para matiz, S (Saturation) para saturación y L (Lightness) para luminosidad. El modelo HSL se representa visualmente como un cono doble o un doble hexágono como se observa en la Figura 12. En este modelo, un color se caracteriza por sus valores de tono, luminosidad y saturación. Todos los colores pueden ser identificados mediante los valores de estas tres variables, es por ello por lo que este modelo es el más elegido para la visión artificial además de la flexibilidad a los cambios de iluminación [41].



Figura 12. Geometría del espacio de colores HSL [41]

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar una estación de paletizado y clasificación de objetos mediante un brazo robótico EPSON controlado por inteligencia artificial.

1.4.2 Objetivos específicos



- Analizar procesos industriales de paletizado y clasificación de objetos con sistemas robotizados manipulados por inteligencia artificial.
- Determinar equipos y recursos automatizados para una estación de paletizado y clasificación de objetos mediante un brazo robótico EPSON controlado por inteligencia artificial.
- Evaluar la estación de paletizado y clasificación de objetos mediante pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales









La Tabla 4 muestra los materiales físicos que se utilizaron para la recolección de información y toma de evidencias del desarrollo del trabajo.

Tabla 4. Materiales de investigación

Material	Ilustración	Descripción
Laptop		Dispositivo utilizado para redactar el proyecto de investigación.
Celular		Dispositivo utilizado para la captura de fotografías necesarias para el proyecto de investigación.
Manual del robot Epson		Elemento utilizado para conocer el funcionamiento y características del robot EPSON utilizado en el proyecto de investigación.

La Tabla 5 muestra los softwares que se utilizaron para el desarrollo del trabajo escrito, donde se realizó la programación de todo el sistema y finalmente donde se elaboró la interfaz Hombre – Máquina para el control y monitoreo de la estación.

Tabla 5. Softwares implementados para la investigación

Material	Ilustración	Descripción
Word		Software utilizado para la redacción del proyecto de investigación.
Excel		Software utilizado para recopilar información sobre la búsqueda sistemática de la bibliografía Metodología PRISMA.
CADe SIMU	 CADe SIMU	Software utilizado para armado del diagrama del circuito eléctrico de la estación automatizada.
TIA PORTAL		Software utilizado para la programación en lenguaje LADER de la estación automatizada.
Visual Studio Code (Python)		Software utilizado para la programación del reconocimiento de colores para la clasificación de botellas.
Epson RC+ Express Software		Software utilizado para la programación y mando de puntos de traslación del robot EPSON.
Wonderware Intouch		Software utilizado para la elaboración de una interfaz hombre - máquina que permite la interacción y control del proceso.
KEPServerEX		Software que permite la conexión OPC entre varios dispositivos para la recopilación de datos e información.

Para la selección de los materiales del sistema fue necesario el uso del método de ponderación de factores, en conjunto con tablas comparativas que permiten identificar

y evaluar los criterios más trascendentes para la toma de decisión en la elección del dispositivo que mejor se ajuste al sistema, detallando la información del método en el Capítulo III. Además, se utilizaron equipos disponibles en los Talleres de Innovación Tecnológica de la FISEI, que facilitaron su implementación en el sistema.

En la Tabla 6 se clasifican todos los materiales que fueron seleccionados y los que se encontraron disponibles en los Talleres Tecnológicos FISEI, que finalmente se utilizaron en la estación robotizada.

Tabla 6. Materiales implementados en el sistema

Materiales Seleccionados	Materiales Disponibles
PLC 1200	Cilindros doble efecto SMC
Sensor IBEST PES-RC50POC2MD	Electroválvulas 5/2 SMC
Sensor PES-TI12PO3MD	Motor taponado
Bomba R365 DC	Modulo PLC
Relé Songle SRD-24VDC-SL-C	Panel de control
Motor Reductor 24 V DC	

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

a. Investigación bibliográfica documental

Se utilizó la investigación bibliográfica como un método para recopilar información de fuentes como artículos científicos, libros y revistas indexadas relacionadas con la manipulación de brazos robóticos para los procesos de paletizado y clasificación de objetos en el sector industrial mediante la IA. Además, se utilizó información disponible en la web para seleccionar equipos que cumplan con los requisitos necesarios para controlar un entorno industrial mediante aplicaciones remotas.

- **Metodología PRISMA.** La metodología prisma es una herramienta para la revisión sistemática de la literatura en diversas bases de datos, basándose de manera resumida en cinco pasos a seguir:

1. Formulación de preguntas de investigación
2. Determinar los términos de búsqueda
3. Selección de la documentación
4. Extracción de documentación
5. Determinación de resultados

- **Preguntas de investigación**

Las preguntas de investigación son aquellas que ayudan a guiar hacia donde se dirige la revisión de documentación, en este caso se basaron en la aplicación de la visión artificial en la clasificación de objetos en la industria, para ello se toma en cuenta tres preguntas descritas en la Tabla 7.

Tabla 7. Preguntas de investigación

Número	Pregunta de investigación (RQ)	Motivación
RQ1	¿De qué manera la inteligencia artificial influye en la clasificación de objetos en la industria?	Identificar la influencia de la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria.
RQ2	¿Qué factores claves han sido considerados para el uso de la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?	Conocer los factores claves que las empresas consideran para el uso de la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria.
RQ3	¿Cuáles son los beneficios de aplicar la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?	Aplicar la inteligencia artificial en el paletizado y la clasificación de objetos en la industria.

- **Términos de búsqueda**

La revisión de la documentación se realizó por medio del uso de bases de datos como: SCOPUS, Web of Science y Taylor and Francis, las mismas que contengan en ellas artículos científicos con fecha de publicación no menor a 5 años atrás, esto tomando la recomendación mencionada en el artículo “Norma editorial: ¿es adecuado no citar los artículos de más de cinco años de antigüedad?”, para la obtención de una

información lo más actual posible [42]. Los términos utilizados para la búsqueda se describen en la Tabla 8.

Tabla 8. Términos de búsqueda

Pregunta de investigación	Términos de búsqueda	Punto de vista
RQ1	"Intelligence" & "Artificial" & "Classification" & "Objects" & "Industry"	VP1
	"Intelligence" & "Artificial" & "Influences" & "Classification" & "Industry"	VP2
RQ2	"Factors" & "Use" & "Intelligence" & "Artificial" & "Classification" & "Industry"	VP3
RQ3	"Profits" & "Intelligence" & "Artificial" & "Classification" & "Objects" & "Industry"	VP4
	"Benefits" & "Apply" & "Intelligence" & "Artificial" & "Industry"	VP5

- **Selección de la documentación**

Para esta etapa de la revisión se tomó en cuenta varios criterios de inclusión y exclusión, con los cuales se pudo seleccionar los documentos que contribuyeron con el tema de investigación, dichos criterios se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Criterios de búsqueda

Número	Inclusión	Exclusión
C1	Artículos afines a la temática	Artículos duplicados
C2	Artículos en inglés y español	Conferencias, libros, informes, página web.
C3	Artículos relacionados con la inteligencia artificial	Investigaciones realizadas en otras áreas que no sea la industrial.
C4	Artículos relacionados con la automatización industrial	Artículos no relacionados al tema
C5	Artículos relacionados a la Inteligencia artificial aplicada en la industria	Artículos no relacionados al tema
C6	Artículos últimos 5 años	Artículos con más de 5 años de antigüedad

Aplicando una revisión sistemática de toda la documentación encontrada en relación a los parámetros de inclusión y exclusión se seleccionó un total de 12 artículos los cuales proporcionaron información que contribuyó al tema de investigación de forma relevante, dicha información se detalla en la Figura 13.

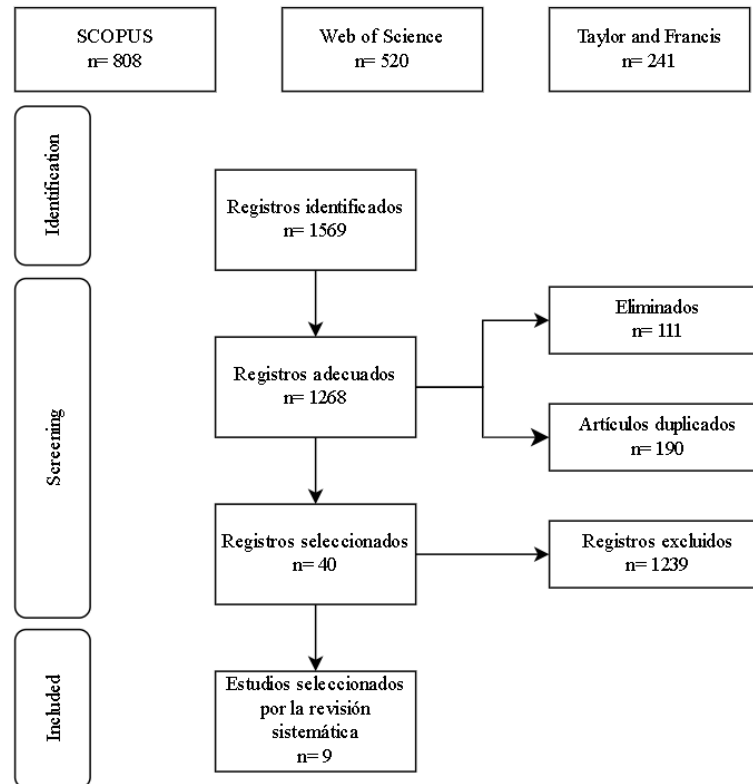


Figura 13. Diagrama de flujo metodología PRISMA.

b. Investigación aplicada

La investigación fue aplicada ya que permitió generar nuevas técnicas de aprendizaje automático y visión por computadora para mejorar la precisión y velocidad de la clasificación de objetos, así también se dedicó a la experimentación con algoritmos que permitan detectar y clasificar de manera eficiente objetos en tiempo real, lo que ayuda a que la evolución sea constante para lograr sistemas eficaces y versátiles capaces de desenvolverse en entornos industriales y logísticos.

c. Investigación de campo

La investigación de campo fue fundamental debido a que se desarrolló el modelado de un robot EPSON ProSix VT6-A901S presente en una estación de paletizado y clasificación de objetos que permita observar el comportamiento del control del entorno mediante la IA. El objetivo es proveer a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, un espacio adecuado para realizar prácticas y establecer una base sólida para posibles mejoras futuras.

d. Investigación experimental

Se llevó a cabo una investigación experimental ya que se realizó pruebas de funcionamiento de la estación de paletizado y clasificación de objetos controlada por la IA. Además, se realizó pruebas en el sistema de monitoreo, con el objetivo de asegurar una comunicación adecuada entre los sistemas para alcanzar la eficiencia en el entorno modelado.

2.2.2 Recolección de información

La Tabla 10, muestra la recolección de información según los objetivos planteados en el desarrollo del trabajo de investigación.

Tabla 10. Recolección de la información

Objetivo	Técnica/Método	Instrumento
Analizar procesos industriales de paletizado y clasificación de objetos con sistemas robotizados manipulados por inteligencia artificial.	1. Recopilación de información. 2. Investigación de datos.	1. Revisión sistemática de la información mediante la metodología prisma. 2. Tablas de datos que contengan los datos más relevantes.
Determinar equipos y recursos automatizados para una estación de paletizado y clasificación de objetos mediante un brazo robótico EPSON controlado por inteligencia artificial.	1. Recopilación de información.	1. Datasheet de los componentes que conforman el entorno industrial.
	2. Método de ponderación.	1. Tablas de ponderación de selección de componentes del entorno industrial.
	3. Selección de la IA	1. Tablas de comparación para la selección de la IA adecuada para el entorno.
Evaluar la estación de paletizado y clasificación de objetos mediante pruebas de funcionamiento.	1. Construcción del entorno industrial.	1. Simulación del proceso de paletizado y clasificación de objetos. 2. Fichas de resultados sobre las salidas del proceso.
	2. Pruebas de funcionamiento.	1. Tablas de registro de datos. 2. Tablas de comparativa de salidas entre modelados del entorno industrial manual y automático.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se determinó bajo los siguientes parámetros:

- Se realizó un análisis exhaustivo de artículos científicos que proporcionan información relevante sobre procesos industriales de clasificación y paletizado con robots e IA.
- Se elaboró planos a detalle del cableado para adaptar la estación a las necesidades específicas, asegurándose de la correcta conexión y configuración.
- Se realizó una revisión exhaustiva del equipamiento utilizado en la estación, con el fin de evaluar el estado y determinar si se necesita realizar una sustitución o actualización
- Se comparó las distintas características de los componentes disponibles en el mercado, considerando cualidades como el rendimiento, calidad y compatibilidad, para tomar decisiones informadas en cuanto a la adquisición de nuevos equipos.
- Se analizó de manera minuciosa las especificaciones técnicas de la estación, así como la demanda específica, con el fin de comprender los requerimientos y adaptación de decisiones en consecuencia.
- Se seleccionó cuidadosamente los actuadores, sensores y controladores que mejor se ajusten a las necesidades, tomando en consideración varios factores como el precio, beneficios, protocolos de comunicación compatibles y aplicaciones necesarias.
- Se realizó la adquisición de los equipos seleccionados, siguiendo un proceso de compra que garantice la calidad y compatibilidad con las necesidades.
- Se realizó la instalación y la configuración de forma precisa de los actuadores y controladores, utilizando protocolos de comunicación y software correspondiente, para asegurar un funcionamiento óptimo del sistema.

- Se identificó los diferentes softwares apropiados que permitan controlar y supervisar de manera eficiente el sistema automatizado, facilitando así la gestión y monitorización de la misma.
- Se implementó un sistema de control integral para cada estación automatizada, asegurándose de que esté debidamente integrado y coordinado con los componentes seleccionados
- Se desarrolló una interfaz que permita visualizar y controlar los datos proporcionados por la estación, facilitando la supervisión y el control del sistema.
- Se realizó pruebas para la verificación del funcionamiento adecuado de todo el sistema, asegurándose de que la estación responda correctamente y cumpla con los requisitos necesarios.
- Se elaboró el informe final del proyecto que respalde de manera escrita todas las etapas y resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto, así como las conclusiones y recomendaciones para futuras mejoras o actualizaciones del sistema automatizado de la estación de trabajo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

En este capítulo, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos en la implementación de la "Estación de Paletizado y Clasificación de Objetos mediante un Brazo Robótico Epson Controlado por Inteligencia Artificial". Para comprender plenamente la contextualización del proyecto, es esencial recordar que el proceso de investigación abarcó una revisión sistemática de la literatura mediante la metodología PRISMA, el procedimiento para la construcción de una estación automatizada de embotellado y taponado, los equipos utilizados, la red de comunicación óptima, la configuración y programación del robot manipulador, la programación para la utilización de la visión artificial y todo esto complementado por un sistema SCADA diseñado para el monitoreo y control integral de la estación robotizada.

3.1.1 Análisis de los procesos industriales

Para el análisis de procesos industriales que involucren la clasificación de objetos mediante el uso de sistemas robóticos y control por IA se utilizó la metodología PRISMA siguiendo los distintos pasos para la revisión sistemática de la bibliografía en relación al tema, mediante la cual se recolectó un total de 9 artículos científicos acordes a la información, con los cuales se puede responder individualmente a las preguntas planteadas que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de investigación

Ref.	¿De qué manera la inteligencia artificial influye en la clasificación de objetos en la industria?	¿Qué factores claves han sido considerados para el uso de la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?	¿Cuáles son los beneficios de aplicar la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?
[43]	La utilización de la IA y algoritmos de aprendizaje profundo como las Redes Neuronales Profundas permite entrenar sistemas con un error igual o, en algunos casos, menor que el de los humanos, ya que la inspección visual humana es rápida, pero existe falta de objetividad por el cansancio en la observación.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Cumplimiento de estándares de calidad 2. Integridad de componentes y sellos 3. Conservación de los productos 4. Control de desperdicio por errores	El uso de la inteligencia artificial en la industria tiene como resultado el no requerir de contacto directo con los alimentos y la función es a altas velocidades, disminuyendo errores de por fatiga o cansancio visual en la objetividad de la visión humana.
[44]	Maximiza la precisión de salida al momento de clasificar los distintos objetos. Al utilizar la inteligencia artificial en robots facilitan los procesos y reducen la intervención humana, disminuyendo así la cantidad de tiempo utilizado para las actividades.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Tiempo utilizado para la clasificación 2. Exactitud 3. Adaptabilidad a procesos 4. Aprendizaje de diversas tareas.	Al utilizar algoritmos de clasificación de imágenes y el procesamiento de las misma, ayuda o soluciona problemas en donde la industria es peligrosa, para así poder hacer el proceso más seguro y sencillo. Además de realizar procesos complejos y que requieren de mucho tiempo de manera efectiva con la intervención de robots.
[45]	Un sistema de fabricación inteligente integra tecnologías que imitan el comportamiento humano, como la visión por computadora y el aprendizaje automático, con robots, lo que da como resultado un sistema potente, que es flexible, permite la interacción y cooperación entre humanos y máquinas y tiene capacidades de autocontrol, organización, autoaprendizaje y auto mantenimiento.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Económicos 2. Exactitud 3. Adaptabilidad a procesos 4. Trabajo autónomo	Los beneficios que se ven presentes en la industria al utilizar la inteligencia artificial es la disminución de costos y una mayor calidad de producción, además de generar enormes ganancias realizando pequeñas actualizaciones
[46]	Se puede automatizar una máquina bobinadora en relación al ajuste de las agujas de la máquina mediante el desarrollo de un sistema de visión artificial que tendrá como misión corregir la ubicación de la aguja mediante el sistema de visión de aprendizaje profundo.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Aprendizaje profundo 2. Exactitud 3. Corrección de errores 4. Identificación exacta	El uso del aprendizaje profundo en la IA genera en las industrias un incremento de ganancias, así como también el aumento del rendimiento económico de la misma, llevando a las organizaciones a crecer en participación en el mercado y mejorar el desempeño industrial

Ref.	¿De qué manera la inteligencia artificial influye en la clasificación de objetos en la industria?	¿Qué factores claves han sido considerados para el uso de la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?	¿Cuáles son los beneficios de aplicar la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?
[47]	El entrenamiento activo de un robot mediante identificación de imágenes ayuda gracias a la rápida capacidad de aprendizaje del robot, a ejecutar nuevos tipos de clasificación de residuos sin una formación costosa y que requiere mucho tiempo.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Fácil aprendizaje 2. Exactitud 3. Adaptabilidad a procesos 4. Aprendizaje de diversas tareas de clasificación	Al utilizar la inteligencia artificial y tener eficacia para la enseñanza de un robot ayuda a la automatización en la industria, ya que en algunos casos lleva mucho tiempo y es costoso, al utilizar métodos de analítica visual, se puede entrenar a clasificadores con una enseñanza activa, haciéndolo más rápido y menos costoso.
[48]	La manipulación de objetos y materiales en bruto apilados se realiza con robots manipuladores, llevando grandes cantidades apiladas sin la necesidad de esfuerzo e intervención humana.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Ubicación de los materiales 2. Precisión 3. Confiabilidad en clasificación 4. Adaptación de agarre	Al utilizar robots manipuladores de materiales en bruto apilados se reduce el esfuerzo físico que puede traer el transportarlo de manera manual, además, evita que los trabajadores ocasionalmente se alejan de sus máquinas para llevar y alimentar las pilas en bruto a las máquinas
[49]	El sistema experto aprenderá a manipular tipos muy diferentes de objetos geométricos con tipos de superficies muy diferentes, pero también se requiere una plataforma de IoT para escalar a un nivel industrial, ya que un brazo robot contiene un conjunto de sensores que trabajan juntos para lograr dicha manipulación.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Aprendizaje automático 2. Identificación de puntos de referencia 3. Confiabilidad en clasificación 4. Adaptación o escalado a la industria	El sistema experto puede aplicarse y adaptarse a cualquier tipo de clasificación a nivel de aprendizaje o a su vez aplicado en las diferentes áreas en la industria, generando el trabajo autónomo del mismo sin supervisión una vez realizada la enseñanza y reacción del mismo.
[50]	Se tiene a disposición un sistema flexible para la integración de soluciones a varios problemas o necesidades utilizando inteligencia artificial y visión por computadora 3D con robots industriales utilizando el marco ROS.	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Precisión 2. Identificación acertada 3. Rangos de detección 4. Adaptación a distintas situaciones	Al integrar cámaras en el sistema se convierte en una identificación total de rasgos exactos, además, podemos decir que dichos dispositivos evolucionan con el tiempo y esto hace que sea beneficioso crear un sistema flexible en el que las cámaras se puedan cambiar fácilmente, sin realizar modificaciones importantes de software para integrar una nueva cámara.
[51]	El uso de un gemelo digital puede compartir datos, en tiempo real o fuera de línea, con el sistema de producción físico. Los gemelos digitales se utilizan para ejecutar simulaciones y pueden actuar	Los factores a considerar para el uso de la inteligencia artificial son: 1. Reducción de costos 2. Mayor seguridad para los trabajadores 3. Rangos de detección	Los brazos robóticos, vehículos guiados automatizados (AGV) o incluso sistemas de pedidos de entrega ofrecen beneficios al estar integrados en un sistema interconectado y al estar

Ref.	¿De qué manera la inteligencia artificial influye en la clasificación de objetos en la industria?	¿Qué factores claves han sido considerados para el uso de la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?	¿Cuáles son los beneficios de aplicar la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?
	como sistemas de monitoreo de procesos que permiten a los usuarios o subsistemas de detección identificar incidentes candidatos, calcular el rendimiento.	4. Adaptación a distintas situaciones	controlados por IA. Estos beneficios van desde una mayor productividad y producción hasta un mejor retorno de la inversión en hardware.

Con toda la información obtenida en la revisión sistemática de cada artículo, se procedió a dar respuesta a cada una de las tres preguntas de investigación planteadas que nos permitan el análisis de procesos industriales de paletizado y clasificación de objetos con sistemas robotizados manipulados con inteligencia artificial.

Pregunta 1: ¿De qué manera la inteligencia artificial influye en la clasificación de objetos en la industria?

La influencia de la inteligencia artificial (IA) en la clasificación de objetos en la industria es significativa y transformadora. La utilización de algoritmos de aprendizaje profundo, como las Redes Neuronales Profundas, permite entrenar sistemas con una precisión igual o superior a la de los humanos, superando la subjetividad y el cansancio inherentes a la inspección visual humana. Esto maximiza la precisión en la clasificación de objetos. La IA también se utiliza en robots industriales para automatizar procesos, reduciendo la intervención humana y disminuyendo el tiempo empleado en actividades de clasificación y manipulación de objetos. Los sistemas de fabricación inteligente integran tecnologías de visión por computadora y aprendizaje automático en robots, lo que resulta en sistemas flexibles, capaces de interactuar y cooperar con humanos, aprender de forma autónoma y realizar mantenimiento automático.

La visión artificial y el aprendizaje profundo se aplican para corregir la ubicación de agujas en máquinas bobinadoras, mejorar la clasificación de residuos y manipular objetos apilados en entornos industriales, sin esfuerzo humano adicional.

La integración de IA y visión por computadora en robots industriales, a través de marcos como ROS (Robot Operating System), ofrece soluciones flexibles para

diversas necesidades. Los gemelos digitales permiten compartir datos en tiempo real y realizar simulaciones para monitorear procesos, identificar incidentes y mejorar el rendimiento en la producción. La IA está revolucionando la clasificación de objetos en la industria para mejorar la precisión, reducir el tiempo de ejecución y aumentar la eficiencia en una amplia gama de aplicaciones industriales.

Pregunta 2: ¿Qué factores claves han sido considerados para el uso de la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?

En la aplicación de inteligencia artificial para la clasificación de objetos en la industria, diversos factores clave son considerados para optimizar su eficacia y utilidad. La exactitud y precisión son esenciales para garantizar que el sistema pueda identificar y clasificar objetos con un alto grado de certeza. La confiabilidad se convierte en un factor crucial para asegurar que los resultados sean consistentes y fiables a lo largo del tiempo.

La adaptación de los modelos de inteligencia artificial es fundamental, ya que los entornos industriales pueden ser dinámicos y sujetos a cambios. La economía juega un papel importante, buscando maximizar la eficiencia operativa y reducir costos mediante la automatización y la mejora de procesos. La seguridad, tanto en términos de protección de datos como de operaciones seguras, es prioritaria para prevenir riesgos y asegurar un entorno de trabajo robusto. La introducción de trabajo autónomo busca optimizar la productividad al permitir que sistemas inteligentes realicen tareas de clasificación de manera independiente. Finalmente, el control de errores se vuelve esencial para corregir posibles malentendidos o confusiones en la clasificación, garantizando así resultados precisos y confiables en la identificación de objetos industriales.

Pregunta 3: ¿Cuáles son los beneficios de aplicar la inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria?

La aplicación de inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria del embalado y sellado de alimentos ofrece una serie de beneficios significativos. En primer lugar, permite realizar esta tarea sin contacto directo con los alimentos y a altas velocidades, eliminando errores humanos por fatiga visual. La utilización de

algoritmos de clasificación de imágenes y procesamiento de datos soluciona problemas peligrosos en la industria, mejorando la seguridad y simplificando procesos complejos. Esto se traduce en una reducción de costos y una mayor calidad de producción, generando ganancias con actualizaciones mínimas. El aprendizaje profundo potencia el rendimiento económico y la participación en el mercado, mientras que la enseñanza activa de robots acelera la automatización. La integración de cámaras y dispositivos flexibles garantiza una identificación precisa y evolutiva, y la inclusión de brazos robóticos y sistemas automatizados interconectados aumenta la productividad y el retorno de inversión en hardware. La inteligencia artificial en la clasificación de objetos en la industria alimentaria revoluciona la eficiencia y la seguridad, impulsando el crecimiento y la rentabilidad de las organizaciones.

3.2 Desarrollo e implementación del sistema

Para la implementación de la estación de paletizado y clasificación de objetos mediante un brazo robótico EPSON controlado por IA, se combinó dos procesos tanto el embotellado y taponado de botellas plásticas como la clasificación y paletizado de las botellas según su color de bebida contenido en la misma, en donde se utilizó herramientas y tecnologías basadas en la industria 4.0, que permiten la automatización del sistema.

3.2.1 Red de comunicación PROFINET

La comunicación PROFINET se realizó con los dispositivos de control y monitoreo de la estación automatizada. En la Figura 14 se indica la arquitectura del protocolo de comunicación, además de los controladores, dispositivos y supervisores necesarios para su implementación.

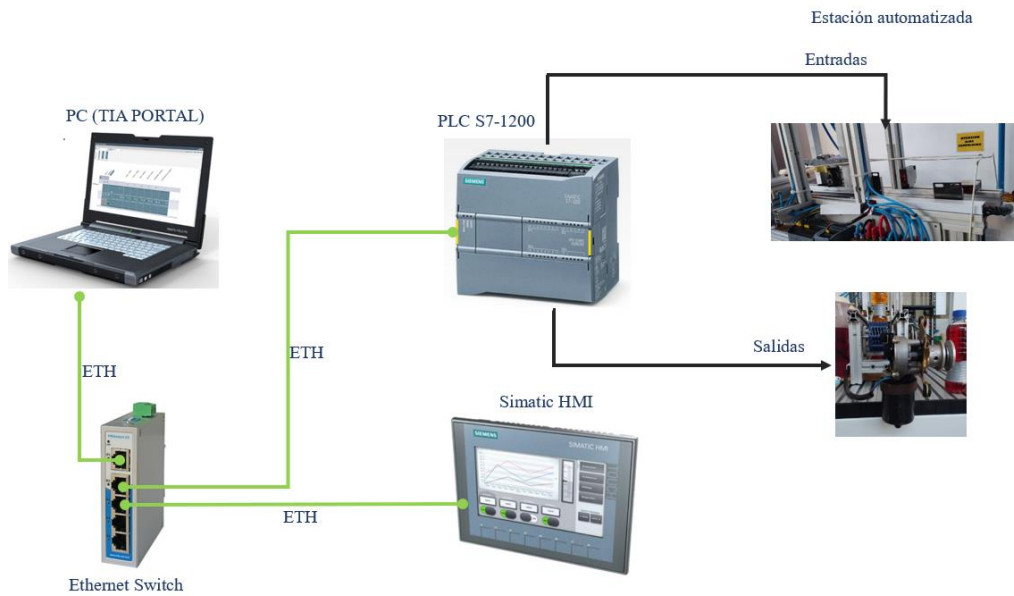


Figura 14. Esquema de comunicación PROFINET de la estación

Al utilizar una la comunicación PROFINET es necesario especificar su red de trabajo, en este caso se utilizó la 192.168.0.xx, con ello se procede a la asignación de la dirección IP para cada dispositivo conectado la cual debe ser distinta para que no genere problemas al enviar y recibir información como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Dirección y dispositivos en el nodo PROFINET



Dispositivo	Dirección IP	Clasificación
Laptop	192.168.0.10	Supervisor
PLC	192.168.0.1	Controlador
HMI	192.168.0.2	Supervisor

3.2.2 Estación automatizada de embotellado

Se abordó inicialmente la estructuración de la estación automatizada de embotellado y taponado, detallando sus componentes clave, funciones específicas y la interacción entre ellos para asegurar un proceso eficiente. Además, se evaluaron los aspectos técnicos y operativos, resaltando los logros alcanzados en velocidad de procesamiento, capacidad de producción y calidad del embotellado, lo que consolidó un análisis integral de su rendimiento.

Para iniciar la automatización de la estación de embotellado se realizó la identificación de las principales características técnicas entre dos PLC's Siemens como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Características principales de PLC's

Características	PLC S7-1200 	PLC S7-1500 
Tiempos de procesos	0,085 μ s	0,01 μ s
Lenguaje de programación		
1. KOP	Si	Si
2. FUP	Si	Si
3. AWL	Si	Si
4. SCL	No	Si
5. GRAPH	No	Si
Tipo de datos		
1. BOOL-1 bit	Si	Si
2. BYTE-8 bits	Si	Si
3. WORD-16 bits	Si	Si
4. DWORD-32 bits	Si	Si
5. LWORD-64 bits	No	Si
6. INT-16 bits	Si	Si
7. DINT-32 bits	Si	Si
8. LINT- 64 bits	No	Si
9. REAL-32 bits	Si	Si
10. LREAL-64 bits	Si	Si
Temporizador		
1. S5TIME-16 bits	No	Si
2. TIME-32 bits	Si	Si
3. LTIME-64 bits	No	Si

Para la selección del controlador más óptimo se utilizó los criterios más relevantes y de mayor impacto a la aplicación del sistema, donde se describió cada factor en la Tabla 14.

Tabla 14. Descripción de factores para la selección del PLC

Factor	Denominación	Descripción
F1	Tiempo de proceso	Indica la duración del ciclo de escaneo, abarcando lectura de entradas, ejecución del programa, cálculo de salidas y su capacidad de tomar decisiones en tiempo real.
F2	Lenguajes de programación	Indica los diferentes métodos o códigos utilizados para escribir programas que controlan el funcionamiento de un controlador lógico programable, como KOP o SCL.

Factor	Denominación	Descripción
F3	Tipo de datos	Indica las diferentes formas de información que el sistema puede manejar, como números enteros, reales, booleanos y caracteres, utilizados en la programación y operación de dispositivos industriales.
F4	Temporizador	Se refiere a una función que permite controlar y manejar el tiempo de activación o desactivación de determinadas acciones o procesos en un sistema automatizado.
F5	Precio	Indica el coste monetario de adquisición del controlador lógico programable, un factor determinante en la selección del dispositivo.
F6	Disponibilidad	Indica la facilidad y accesibilidad para obtener el dispositivo en el mercado, considerando su disponibilidad inmediata, plazos de entrega y existencia en inventario.

Al describir cada factor clave de un PLC se procedió a realizar una matriz de enfrentamiento que relaciona los criterios en términos de su importancia relativa evaluándolos con valores de 1 a 5 como se presenta en la Tabla 15 (esta escala valorativa se aplica a todas las matrices realizadas) y obteniendo el peso ponderado de cada uno, como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Escala de importancia para evaluación de criterios

Descripción	Valores numéricos
Igual importancia	1
Importancia moderada	2
Fuerte importancia	3
Muy fuerte importancia	4
Importancia extrema	5

Tabla 16. Ponderación de factores PLC's

Ponderación de Factores								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Total	Peso ponderado
F1		0,5	0,5	0,5	0,2	0,5	2,20	0,05
F2	2		1	2	0,5	0,5	6,00	0,14
F3	2	1		2	0,5	0,5	6,00	0,14

Ponderación de Factores								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Total	Peso ponderado
F4	2	0,5	0,5		0,5	0,5	4,00	0,09
F5	5	2	2	2		0,5	11,50	0,27
F6	5	2	2	2	2		13,00	0,30
Total							42,70	1,00

Con los pesos ponderados asignados en la Tabla 15, se calificó los factores en la escala de la Tabla 17 que se aplica a todos los dispositivos seleccionados, en este caso, con cada PLC, en donde se comparó y evaluó el mejor dispositivo para su implementación en el sistema como se indica en la Tabla 17.

Tabla 17. Escala valorativa para la calificación de factores ponderados

Descripción	Valores numéricos
Muy deficiente	1
Deficiente	2
Insuficiente	3
Suficiente	4
Aprobado	5
Bueno	6
Notable	7
Muy notable	8
Sobresaliente	9
Excelente	10

Tabla 18. Comparación de PLC's

Factor	Peso ponderado	PLC S7-1200		PLC S7-1500	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Tiempo de proceso	0,05	1	0,05	10	0,52
Lenguajes de programación (KOP, SCL)	0,14	5	0,70	5	0,70
Tipo de datos	0,14	8	1,12	10	1,41
Temporizador	0,09	5	0,47	5	0,47
Precio	0,27	10	2,69	6	1,62
Disponibilidad	0,30	10	3,04	6	1,83
TOTAL			8,08		6,53

La Tabla 17 muestra la comparación entre los PLCs S7-1200 y S7-1500, que se ha realizado mediante una evaluación ponderada de los factores clave. En primer lugar, el tiempo de proceso, que refleja la velocidad de ejecución de instrucciones, muestra una ligera ventaja para el S7-1500. En cuanto a los lenguajes de programación (KOP, SCL), ambos PLC's obtienen la misma puntuación máxima, lo que indica que tienen la misma versatilidad en programación. Respecto al tipo de datos, que es esencial para el manejo y procesamiento de información, destaca una mayor eficiencia para el S7-1500, evidenciando su capacidad superior en la gestión de datos. En relación con el temporizador, ambas variantes muestran un desempeño similar en tiempos de activación y desactivación requeridas en el proceso. En términos de precio, el S7-1200 se posiciona favorablemente con un costo más asequible que su contraparte. Además, la disponibilidad de ambas unidades muestra que el S7-1200, tiene una mayor facilidad para obtener el producto en el mercado. En conclusión, el análisis indica que el S7-1200 es el controlador más apropiado para la implementación en el sistema.

3.2.3 Conexiones eléctricas de la estación automatizada de embotellado

Para las conexiones eléctricas de la estación automatizada de embotellado se utilizó el software CadeSimu, el cual permitió obtener el diagrama de circuitos eléctricos, siendo una guía en las conexiones físicas de pulsadores, sensores y actuadores, evitando las fallas y cortocircuitos ocasionados por una mala conexión.

e. Entradas físicas del sistema

En la Figura 15, se muestra el diagrama eléctrico para la alimentación del PLC y el conexionado de las entradas digitales para los pulsadores y sensores que fueron necesarios en el sistema.

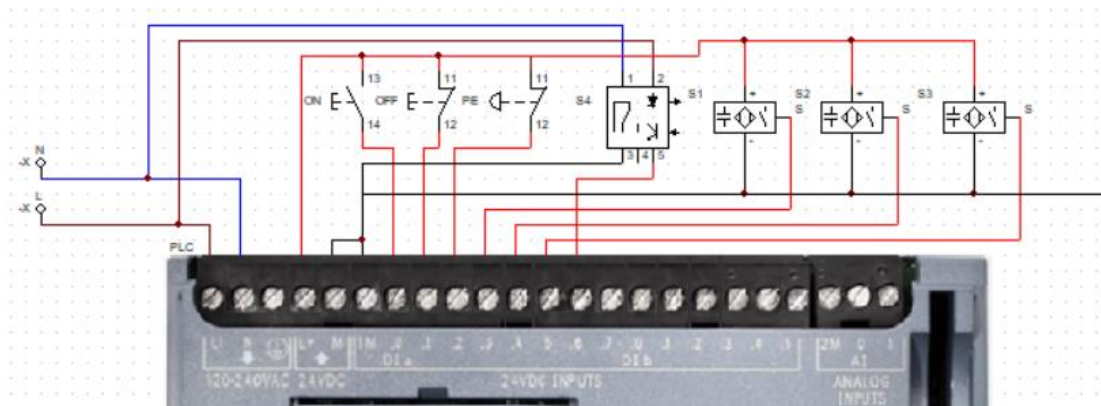


Figura 15. Conexión de las entradas físicas

Las entradas de la estación están conformadas por los siguientes componentes: pulsadores y sensores, los cuales se detallan en la Tabla 19:

Tabla 19. Descripción de entradas físicas del PLC

Entradas al PLC	Dirección	Componente	Descripción
.0	I 0.0	Pulsador Start	Inicia el proceso
.1	I 0.1	Pulsador Stop	Para el proceso momentáneamente
.2	I 0.2	Pulsador paro de emergencia	Para completamente todo el proceso
.3	I 0.3	Sensor de salida	Detecta el objeto al final del proceso
.4	I 0.4	Sensor de llenado	Detecta el objeto en la etapa de llenado

Entradas al PLC	Dirección	Componente	Descripción
.5	I 0.5	Sensor de taponado	Detecta el objeto en la etapa de taponado
.6	I 0.6	Sensor de entrada	Detecta el objeto al ingresar al proceso

- **Salidas físicas**

La Figura 16 muestra el diagrama eléctrico para la conexión de los actuadores a las salidas del PLC. Además, se utilizó un módulo de salidas digitales para los actuadores.

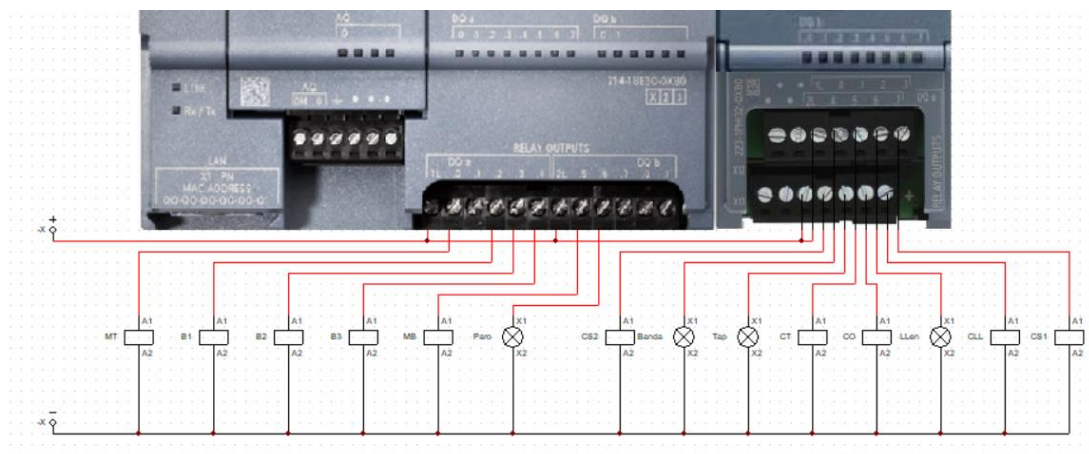


Figura 16. Conexión de las salidas físicas

Los actuadores implementados en las salidas del PLC y el módulo de salidas digitales son: luces piloto, motores, bombas y electroválvulas. En la Tabla 20 y Tabla 21 se detalla su dirección y función.

Tabla 20. Descripción de salidas físicas del PLC

Salidas al PLC	Dirección	Componente	Descripción
.0	Q 0.0	Motor de taponado	Actuador para enroscar las tapas de botellas
.2	Q 0.2	Bomba 1	Traslado de refresco 1
.3	Q 0.3	Bomba 2	Traslado de refresco 2
.4	Q 0.4	Bomba 3	Traslado de refresco 3
.5	Q 0.5	Motor de banda	Actuador de funcionamiento de banda transportadora
.6	Q0.6	Luz piloto paro	Luz piloto roja que indica el paro del sistema

Tabla 21. Descripción de salidas del módulo integrado

Salidas al Módulo	Dirección	Componente	Descripción
.0	Q 8.0	Luz piloto banda	Indica el funcionamiento de la banda transportadora en el sistema
.1	Q 8.1	Luz piloto taponado	Indica la etapa de taponado de la botella
.2	Q 8.2	Luz piloto llenado	Indica la etapa de llenado de la botella
.3	Q 8.3	Cilindro de llenado	Desplaza la boquilla de los tres refrescos para el llenado
.4	Q 8.4	Cilindros de sujeción 1	Sujeta el objeto para ser taponado
.5	Q 8.5	Cilindros de sujeción 2	Sujeta el objeto para ser taponado
.6	Q 8.6	Cilindro de taponado	Desplaza el motor para taponar los objetos

3.2.4 Sensores fotoeléctricos

Se cuenta con 2 sensores fotoeléctricos de detección colocados a lo largo de la banda transportadora como se muestra en la Figura 17, permitiendo dar inicio a cada etapa del proceso de embotellado y taponado, los cuales fueron conectados a las entradas del PLC.

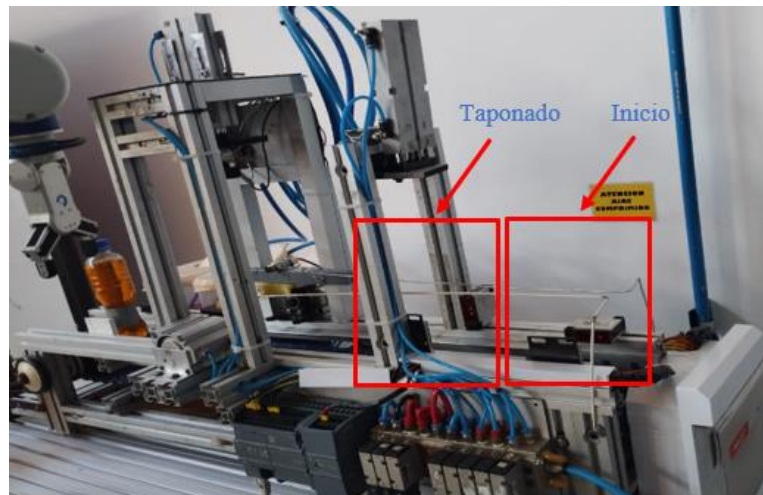




Figura 17. Sensores fotoeléctricos del sistema

La Tabla 22 proporciona información detallada sobre las características técnicas de los sensores, destacando tanto similitudes como diferencias. La elección entre estos sensores se fundamentó en las necesidades específicas de la aplicación en el sistema.

Tabla 22. Características principales de sensores fotoeléctricos

Características	Sensor IBEST PES-RC50POC2MD	Sensor SICK WL12-3P2451
Imagen		
Dimensión	(15,59 x 48,49 x 42.01) mm	(15,59 x 48,49 x 42.01) mm
Alimentación	DC 10 – 30 V	DC 10 – 30 V
Tipo de detección	Retro - reflectante	Retro - reflectante
Tiempo de respuesta	≤ 3 ms	≤ 0.33 ms
Tipo de salida	PNP NO + NC 4 Hilos	PNP NO + NC 4 Hilos
Salida de corriente	≤ 200 mA	≤ 100 mA
Rango de detección	0 a 2 m	0 a 30 cm

En la Tabla 23 se detalla factores cruciales al evaluar sensores que emplean luz para detectar objetos en entornos automatizados. Cada factor ofrece una perspectiva completa al seleccionar sensores de luz infrarroja u otros para la detección en entornos industriales automatizados, brindando información esencial para la toma de decisiones en aplicaciones similares.

Tabla 23. Descripción de factores para la selección de los sensores

Factor	Denominación	Descripción
F1	Tipo de detección de	Indica al método utilizado para identificar la presencia o ausencia de un objeto mediante luz infrarroja, ya sea por reflexión, transmisión o barrera.
F2	Tiempo de respuesta de	Indica al lapso que tarda el sensor en detectar un cambio en la luz incidente y producir una señal de salida correspondiente, crucial para la precisión temporal en la automatización.
F3	Salida de corriente de	Indica la capacidad del sensor para generar una señal eléctrica en respuesta a la detección de luz, indicando la presencia o ausencia de un objeto.
F4	Rango de detección de	Indica la distancia máxima o mínima en la cual el sensor puede detectar de manera efectiva la presencia o ausencia de un objeto utilizando luz.

Factor	Denominación	Descripción
F5	Precio	Indica el coste monetario de adquisición del sensor, un factor determinante en la selección del dispositivo.
F6	Disponibilidad	Indica la facilidad y accesibilidad para obtener el dispositivo en el mercado, considerando su disponibilidad inmediata, plazos de entrega y existencia en inventario.

Considerando los criterios claves de los sensores que se detalló en la Tabla 23, se obtuvo sus pesos ponderados mediante la matriz de enfrentamiento como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Ponderación de factores de sensores

Ponderación de los factores								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Total	Peso ponderado
F1		0,33	0,50	0,25	0,20	0,50	1,78	0,04
F2	3,00		2,00	1,00	0,50	0,50	7,00	0,14
F3	2,00	0,50		0,50	0,25	0,25	3,50	0,07
F4	4,00	1,00	2,00		0,50	0,50	8,00	0,16
F5	5,00	2,00	4,00	2,00		0,50	13,50	0,28
F6	5,00	2,00	4,00	2,00	2,00		15,00	0,31
Total							48,78	1,00

Una vez obtenidos los pesos ponderados de cada factor en la Tabla 24, se calificó cada uno de ellos en base a las características que los sensores IBEST y SICK presentan en la Tabla 23, en donde se compara y se selecciona al de mayor calificación como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Comparación de factores de sensores fotoeléctricos

Factor	Peso ponderado	Sensor IBEST PES-RC50POC2MD		Sensor SICK WL12-3P2451	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Tipo de detección	0,04	5	0,18	5	0,18

Tiempo de respuesta	0,14	1	0,14	10	1,43
Salida de corriente	0,07	1	0,07	10	0,72
Rango de detección	0,16	10	1,64	1	0,16
Precio	0,28	10	2,77	1	0,28
Disponibilidad	0,31	10	3,07	5	1,54
TOTAL			7,88		4,31

La Tabla 25 indica la comparación entre los sensores IBEST y SICK, donde se reveló discrepancias significativas en múltiples factores. En cuanto al tipo de detección, ambos sensores tienen el mismo método de identificación de objetos. Sin embargo, el tiempo de respuesta marcó una disparidad considerable: el sensor SICK destacó con una capacidad de respuesta significativamente más rápida en comparación con el IBEST. En términos de salida de corriente, el sensor SICK presentó una ventaja clara, ya que genera una señal eléctrica mayor. El rango de detección mostró una gran diferencia, donde el sensor IBEST tiene una distancia máxima superior para detectar los objetos en el sistema. Respecto al precio, el IBEST se posicionó como una opción considerablemente más económica en comparación con el SICK. Finalmente, en cuanto a la disponibilidad, el sensor IBEST tiene mayor facilidad de hallarse en el mercado. Este análisis revela que, el sensor IBEST mostró fortalezas notables en términos de rango de detección, disponibilidad y precio más asequible, siendo la mejor opción en la implementación del sistema.

3.2.5 Sensores fotoeléctricos de haz pasante por infrarrojos

En la etapa de taponado se utilizó un sensor fotoeléctrico de haz pasante por infrarrojo como se muestra en la Figura 18, el cual permite la activación de las electroválvulas para la sujeción del envase, del cilindro y del motor de taponado.

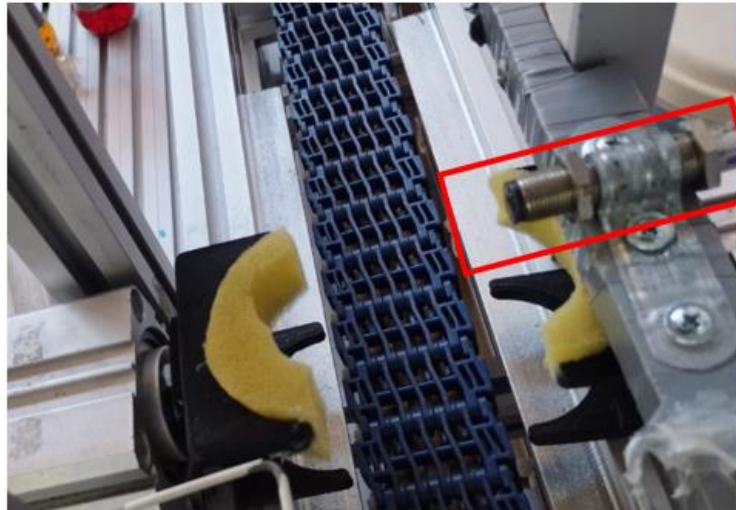




Figura 18. Sensor fotoeléctrico de haz pasante

La Tabla 26 muestra las principales especificaciones técnicas entre los sensores fotoeléctricos de haz pasante. Estos datos fueron la base para la selección del dispositivo.

Tabla 26. Características principales de sensores fotoeléctricos de haz pasante

Características	Sensor PES-TI12PO3MD	Sensor PSE-D12PO10D
Imagen		
Dimensión	M12 x 55 mm	M12 x 70mm
Alimentación	DC 10 – 30 V	DC 10 – 30 V
Tipo de detección	Haz pasante	Difusa
Tiempo de respuesta	≤5ms	≤3ms
Tipo de salida	PNP NO + NC 3 Hilos	PNP NO + NC 3Hilos
Salida de corriente	≤200 mA	≤200 mA
Rango de detección	0 a 3 m	0 a 10 cm

La Tabla 26 constituye una evaluación comparativa entre los sensores, el PES-TI12PO3MD y el PSE-D12PO10D, considerando los pesos ponderados de cada factor

en términos de su importancia relativa que se obtuvo en la Tabla 27, y la calificación que se realizó en una escala del 1 al 10.

Tabla 27. Comparación de sensores de haz pasante

Factor	Peso ponderado	Sensor PES-TI12PO3MD		Sensor PSE-D12PO10D	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Tipo de detección	0,04	5	0,18	5	0,18
Tiempo de respuesta	0,14	1	0,14	10	1,43
Salida de corriente	0,07	5	0,36	5	0,36
Rango de detección	0,16	10	1,64	1	0,16
Precio	0,28	5	1,38	5	1,38
Disponibilidad	0,31	5	1,54	5	1,54
TOTAL			5,25		5,06

La Tabla 27 muestra un análisis entre los sensores PES-TI12PO3MD y PSE-D12PO10D que se ha llevado a cabo considerando los factores ponderados. En el tipo de detección evaluado muestra una similitud en ambas variantes, manteniendo el mismo método de detección de los objetos. Sin embargo, el tiempo de respuesta destaca una marcada diferencia, siendo significativamente superior en el PSE, lo que indica una mayor velocidad de reacción en este sensor. En términos de salida de corriente es similar en ambos, mostrando una consistencia en la generación de la señal eléctrica. En cuanto al rango de detección, el PES supera al PSE, con una capacidad de detección más amplia. Respecto al precio, ambos sensores son económicamente favorables. La disponibilidad también muestra una paridad entre los sensores evaluados. En resumen, se seleccionó el PSE que destaca por su tiempo de respuesta, que es importante en el sistema implementado.

3.2.6 Sistema neumático del proceso

Para el sistema neumático de la estación automatizada de embotellado y taponado, se utilizó un panel de electroválvulas SMC 5/2 monoestables de 12 V DC como se

muestra en la Figura 19. Además, se emplearon accesorios neumáticos como acoples, codos y válvulas reguladoras para el flujo del aire, conectados mediante manguera neumática a los cilindros de doble efecto en cada una de las etapas del proceso.

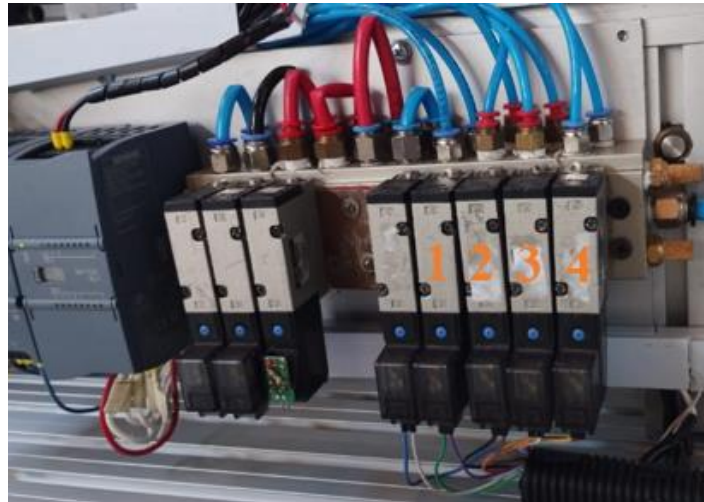


Figura 19. Panel de electroválvulas del sistema

La Tabla 28 muestra el número de electroválvula y su función realizada en la activación de los cilindros del sistema.

Tabla 28. Descripción de electroválvulas



Número	Descripción
Electroválvula 1	Permite la activación del cilindro de sujeción 1 en la etapa de taponado
Electroválvula 2	Permite la activación del cilindro de sujeción 2 en la etapa de taponado
Electroválvula 3	Permite la activación del cilindro que sujeta al motor de taponado
Electroválvula 4	Permite la activación del cilindro de llenado.

3.2.7 Bombas no sumergibles de agua

Para la etapa de llenado del proceso se utilizó bombas no sumergibles de 12 V DC, las cuales permiten llevar el líquido de los tanques de almacenamiento que contienen líquido de tres diferentes tipos de bebidas, mediante una manguera hasta la boquilla de llenado.

En la Tabla 29 se muestra la información sobre las principales características técnicas entre dos tipos de bombas no sumergibles de 12V DC, para su respectiva selección.

Tabla 29. Características principales de bombas DC

Características	Bomba R365 DC	Bomba R385 PLUS DC
Imagen		
Dimensión	(110 x 35 x 40) mm	(90 x 35 x 40) mm
Alimentación	DC 6-12 V	DC 6-12 V
Potencia	3W	6W
Corriente de trabajo	0.23 A	0.5-0.75 A
Caudal	2-3 L/min	1.5-2.1 L/min
Altura máxima de succión	2.5 m	2.1 m

Con la información que proporciona la Tabla 29, se detallaron los factores claves para la selección del dispositivo más apropiado para el sistema. La

Tabla 30 indica la numeración y descripción de cada criterio necesario para la comparación de bombas de 12V DC.

Tabla 30. Descripción de factores para la selección de bombas DC

Factor	Denominación	Descripción
F1	Potencia	Indica la capacidad de conversión de energía eléctrica en energía mecánica para generar el flujo o caudal de agua requerido.
F2	Corriente de trabajo	Indica la cantidad de corriente eléctrica, medida en amperios, que la bomba consume durante su funcionamiento operativo para garantizar su adecuado rendimiento en el sistema de 12V.
F3	Caudal	Indica a la cantidad de líquido que la bomba puede mover por unidad de tiempo.
F4	Altura de succión	Indica la máxima elevación vertical desde la fuente de líquido hasta la entrada de la bomba que garantiza su funcionamiento efectivo con la tensión de 12V.

F5	Precio	Indica el coste monetario de adquisición de la bomba no sumergible, un factor determinante en la selección del dispositivo.
F6	Disponibilidad	Indica la facilidad y accesibilidad para obtener el dispositivo en el mercado, considerando su disponibilidad inmediata, plazos de entrega y existencia en inventario.

Una vez descritos los factores claves para la selección de bombas de 12 V DC, se procedió a realizar la matriz de enfrentamiento, en donde se obtuvieron los valores ponderados de cada criterio como se indica en la Tabla 31.

Tabla 31. Ponderación de factores de bombas DC

Ponderación de los factores								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Total	Peso ponderado
F1		1,00	0,50	0,50	0,25	0,50	2,75	0,06
F2	1,00		0,50	2,00	0,50	0,50	4,50	0,09
F3	2,00	2,00		3,00	0,25	0,25	7,50	0,16
F4	2,00	0,50	0,33		0,25	0,25	3,33	0,07
F5	4,00	2,00	4,00	4,00		1,00	15,00	0,31
F6	4,00	2,00	4,00	4,00	1,00		15,00	0,31
TOTAL							48,08	1,00

En la Tabla 31 se realizó un análisis comparativo entre las bombas R365 DC y R385 PLUS DC, se han evaluado los factores ponderados en la Tabla 32 los cuales fueron calificados en una escala del 1 al 10 dependiendo de las características de cada dispositivo comparado.

Tabla 32. Comparación de bombas DC

Factor	Peso ponderado	Bomba R365 DC		Bomba R385 PLUS DC	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Potencia	0,06	1	0,06	10	0,57

Corriente de trabajo	0,09	10	0,94	1	0,09
Caudal	0,16	10	1,56	1	0,16
Altura de succión	0,07	5	0,35	5	0,35
Precio	0,31	5	1,56	5	1,56
Disponibilidad	0,31	5	1,56	5	1,56
TOTAL			6,02		4,29

La Tabla 32 indica la comparación entre las bombas R365 DC y R385 PLUS DC, y se llevó a cabo considerando los factores ponderados. En términos de potencia, la Bomba R385 PLUS DC destaca su mayor capacidad de rendimiento en flujo de las bebidas. Respecto a la corriente de trabajo muestra una disparidad, donde la R365 DC, indica una eficiencia superior en consumo energético. En cuanto al caudal, la Bomba R365 DC sobresale con una mayor capacidad de flujo de líquidos. La altura de succión se mantiene igual entre ambas bombas, reflejando una similitud en su capacidad de elevación. Por último, el precio y la disponibilidad muestran equivalencia entre los modelos, lo que sugiere que ambos productos están igualmente accesibles en el mercado. En resumen, la Bomba R365 DC sobresale en términos de corriente de trabajo y caudal, siendo la mejor opción en la aplicación requerida.

3.2.8 Motor DC con reductor de velocidad

El transporte de las botellas por cada una de las etapas del proceso se lo realizó mediante una banda transportadora, la cual funciona mediante un sistema de poleas como se muestra en la Figura 20. El motor utilizado fue un Motor Reductor 24 V DC, seleccionado mediante la ponderación de factores realizada a continuación:

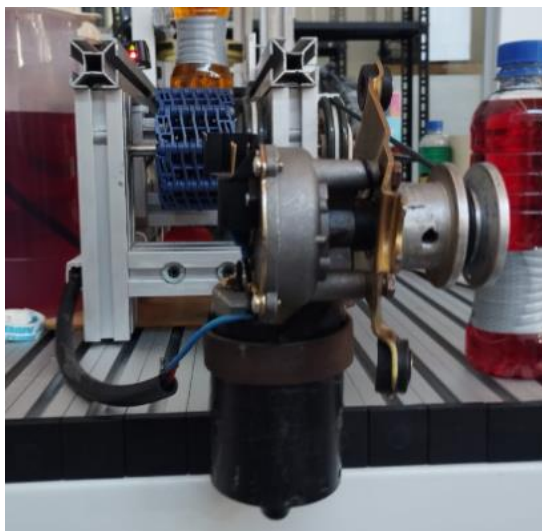




Figura 20. Motor y sistema de poleas de la banda transportadora

La Tabla 33 muestra la información más importante en datos técnicos entre los motores reductores de 24V DC.

Tabla 33. Características principales de motores 24V DC

Características	Motor Reductor 24 V DC	Motor BBQ-30GZ6087R24V50RPM
Imagen		
Alimentación	DC 24V	DC 24V
Corriente	4.4 A	≤ 3.5 A
Potencia	50 W	30 W
Revoluciones por min	82 rpm	50 rpm
Torque	6 N.m	6 N.m
Frecuencia	60 Hz	60 Hz

La Tabla 34 presenta la descripción de los factores claves relacionados con un motor eléctrico de 24 V DC, en base a los datos que se obtuvo en la Tabla 33.

Tabla 34. Descripción de factores para la selección de motores 24V DC

Factor	Denominación	Descripción
F1	Corriente	Indica la capacidad máxima de corriente que el motor puede manejar de manera segura y eficiente sin sobrecalentarse o dañarse, considerando la tensión nominal de 24 V DC.
F2	Potencia	Indica la capacidad del motor para convertir la energía eléctrica en energía mecánica, determinando su fuerza de salida y su capacidad de realizar trabajo.
F3	Revoluciones por minuto	Indica la velocidad rotacional medida en vueltas completas por minuto que el motor es capaz de alcanzar o mantener bajo una alimentación de 24 V DC.
F4	Torque	Se refiere a la medida de la fuerza rotacional que puede generar el motor a esa tensión, determinando su capacidad para realizar un trabajo mecánico específico.
F5	Precio	Indica el coste monetario de adquisición del motor, un factor determinante en la selección del dispositivo.
F6	Disponibilidad	Indica la facilidad y accesibilidad para obtener el dispositivo en el mercado, considerando su disponibilidad inmediata, plazos de entrega y existencia en inventario.

Con la información que se recopiló en la Tabla 33 y Tabla 34, se realizó la matriz de enfrentamiento de los criterios, obteniendo los pesos ponderados de cada uno como se indica en la Tabla 35.

Tabla 35. Ponderación de factores de motores DC

Ponderación de los criterios								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Total	Peso ponderado
F1		1,00	2,00	0,50	0,25	0,25	4,00	0,09
F2	1,00		1,00	0,50	0,25	0,25	3,00	0,06
F3	0,50	1,00		0,50	0,25	0,25	2,50	0,05
F4	2,00	2,00	2,00		0,50	0,50	7,00	0,15
F5	4,00	4,00	4,00	2,00		0,50	14,50	0,31
F6	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00		16,00	0,34
Total							47,00	1,00

La Tabla 35 presenta una evaluación comparativa entre el Motor Reductor 24 V DC y el Motor BBQ-30GZ6087R24V50RPM. La ponderación de factores y las calificaciones asignadas proporcionan una visión cuantitativa de diversas características clave para la selección de un motor reductor.

Tabla 36. Comparación de motores de 24V DC



Factor	Peso ponderado	Motor Reductor 24 V DC		Motor BBQ-30GZ6087R24V50RPM	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Corriente	0,09	8	0,68	10	0,85
Potencia	0,06	10	0,64	6	0,38
Revoluciones por minuto	0,05	10	0,53	6	0,32
Torque	0,15	5	0,74	5	0,74
Precio	0,31	5	1,54	5	1,54
Disponibilidad	0,34	5	1,70	5	1,70
TOTAL			5,84		5,54

La Tabla 36 indica la comparación ponderada de los factores entre el Motor Reductor 24 V DC y el Motor BBQ-30GZ6087R24V50RPM. En términos de corriente, el Motor Reductor indica una eficiencia ligeramente superior en el consumo eléctrico. Respecto a la potencia y las revoluciones por minuto, el Motor Reductor destacó en ambas áreas, evidenciando una mayor capacidad de potencia y velocidad en comparación con el Motor BBQ-30GZ6087R24V50RPM. En cuanto al torque, ambos motores obtuvieron una igual capacidad para generar fuerza rotativa. Además, en el aspecto del precio y la disponibilidad, ambos motores muestran niveles iguales, lo que indica que, en términos de costos y acceso al mercado, ofrecen condiciones similares. En resumen, el Motor Reductor 24 V DC presenta ventajas en potencia y revoluciones por minuto, siendo la opción óptima en la implementación del sistema.

3.2.9 Motor de taponado

La etapa del taponado de las botellas de lo realizó mediante un motor reductor DC, que permitió enroscar las tapas de las botellas para su sellado. En la Tabla 37, se muestra los datos técnicos más relevantes que se encontraron para la comparación de dos motores reductores de 12V DC.

Tabla 37. Características principales de motor de 12 V DC

Características	Motor Reductor 3 – 12 V DC	Motor reductor 12V DC
Imagen		
Alimentación	DC 12V	DC 12 V
Corriente	500 mA	250 mA
Potencia	6 W	3 W
Revoluciones por min	300 rpm	10 rpm
Torque	0.2 N.m	1.2 N.m
Frecuencia	60 Hz	60 Hz

La Tabla 37 representa una evaluación comparativa entre dos motores reductores de 12V DC, considerando diversos factores ponderados. Dichos factores, como la corriente, la potencia, los rpm, el torque, precio y disponibilidad, se evaluaron en la Tabla 38 en términos de su importancia relativa, representada por sus pesos ponderados.

Tabla 38. Comparación de motores para el taponado

Factor	Peso ponderado	Motor Reductor 3 – 12 V DC		Motor reductor 12V DC	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Corriente	0,09	10	0,85	5	0,43

Potencia	0,06	10	0,64	5	0,32
Revoluciones por minuto	0,05	10	0,53	1	0,05
Torque	0,15	1	0,15	10	1,49
Precio	0,31	10	3,09	5	1,54
Disponibilidad	0,34	10	3,40	5	1,70
TOTAL			8,66		5,53

La Tabla 38 indica la comparación entre los motores reductores de 3-12V DC y 12V DC que se ha llevado a cabo considerando diversos factores ponderados. En términos de corriente, el motor reductor de 3-12V DC indica una mayor eficiencia en el consumo de energía en comparación con el motor de 12V DC. Al igual que la potencia, sugiriendo una capacidad superior para realizar tareas de manera más eficaz. Las revoluciones por minuto, relacionadas con la velocidad de rotación, muestran una clara ventaja para el motor de 3-12V DC. Respecto a el torque, que es determinante en la capacidad de torsión, señala que el motor de 12V DC supera significativamente al otro en esta característica. En términos de precio, el motor de 3-12V DC muestra ser más económico. También en la disponibilidad, el motor de 3-12V DC indica una mayor facilidad para adquirirlo en el mercado. En resumen, el motor reductor de 3-12V DC sobresale en todos los aspectos excepto en el Torque, siendo la mejor opción para la aplicación del sistema.

3.2.10 Relés de corriente continua

Para seguridad del controlador y los dispositivos de la estación se realizó el conexionado eléctrico a relés electromecánicos como se muestra en la Figura 21, los cuales permiten el paso de la corriente y el voltaje, siempre y cuando se excite su bobina y no sobrepase los límites especificados por su fabricante, sirviendo como seguridad para los dispositivos.

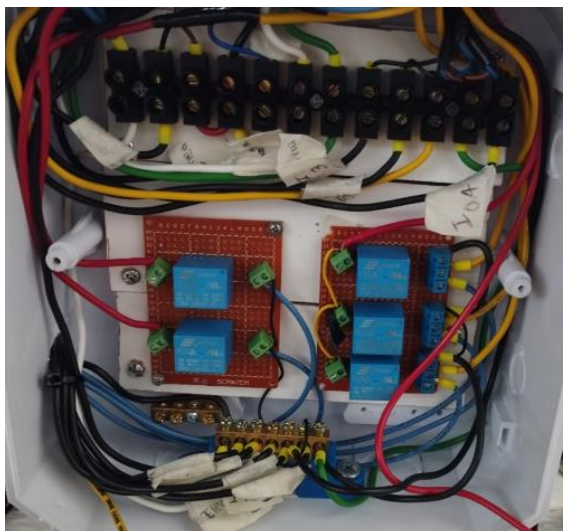



Figura 21. Conexión de bombas y motores a relés

En la Tabla 39, se detallan los aspectos técnicos principales para la comparación entre dos tipos de relés que se adaptaron de la manera óptima al sistema.

Tabla 39. Características principales de relés a bajo costo

Características	Relé Songle SRD-24VDC-SL-C	Relé Finder 34.81.7.024.9024 - SSR
Imagen		
Tipo	Relé electromecánico	Relé de estado sólido
Voltaje de conmutación	DC 24 V	DC 24 V
Corriente nominal en bobina	15 mA	7 mA
Voltaje de salida	24 V DC	24 V DC
Corriente de salida	10A	6A
Vida útil	100 000 ciclos	10 000 000 ciclos

En la Tabla 40, se indica la descripción de cada criterio a evaluar para la selección del relé que mejor se adapte a las necesidades del sistema.

Tabla 40. Descripción de factores para la selección de los relés

Factor	Denominación	Descripción
F1	Corriente de salida	Indica la capacidad máxima de corriente que puede manejar el relé sin sufrir daños, indicando el límite seguro para la carga conectada al dispositivo de control.
F2	Voltaje de salida	Indica el nivel de tensión que puede proporcionar como señal de activación o control hacia otros dispositivos, como interruptores, basado en su capacidad electromagnética de conmutación.
F3	Conmutaciones	Indica el número de veces que un relé puede cambiar su estado de activado a desactivado, o viceversa, antes de que se deteriore su funcionamiento o vida útil.
F4	Precio	Indica el coste monetario de adquisición del relé un factor determinante en la selección del dispositivo.
F5	Disponibilidad	Indica la facilidad y accesibilidad para obtener el dispositivo en el mercado, considerando su disponibilidad inmediata, plazos de entrega y existencia en inventario.

Una vez descritos los factores a evaluar se realizó la matriz de enfrentamiento de los criterios para obtener sus respectivos pesos ponderados, como se muestra a continuación en la Tabla 41.

Tabla 41. Ponderación de factores de relés

Ponderación de los factores							
	F1	F2	F3	F4	F5	Total	Peso ponderado
F1		1,00	0,50	0,25	0,25	2,00	0,06
F2	1,00		1,00	0,25	0,25	2,50	0,07
F3	2,00	1,00		0,33	0,33	3,67	0,11
F4	4,00	4,00	3,00		0,33	11,33	0,34
F5	4,00	4,00	3,00	3,00		14,00	0,42
TOTAL						33,50	1,00

Una vez evaluados los diversos factores y teniendo sus pesos ponderados para determinar cuál de los dos dispositivos es más adecuado en términos de importancia relativa para el sistema se desarrolló la Tabla 42 que proporciona una visión cuantitativa de estos criterios y sus calificaciones.

Tabla 42. Comparación de relés

Factor	Peso ponderado	Relé Songle SRD-24VDC-SL-C		Relé Finder 34.81.7.024.9024 - SSR	
		Calificación	Total	Calificación	Total

Corriente de salida	0,06	5	0,30	5	0,30
Voltaje de salida	0,07	5	0,37	5	0,37
Conmutaciones	0,11	1	0,11	10	1,09
Precio	0,34	10	3,38	1	0,34
Disponibilidad	0,42	5	2,09	5	2,09
TOTAL			6,25		4,19

El análisis entre el Relé Songle y el Relé Finder muestra diferencias significativas en varios aspectos. En términos de corriente y voltaje de salida, ambos relés destacan una capacidad equilibrada en estas áreas. Sin embargo, la cantidad de conmutaciones del Relé Finder supera considerablemente al Relé Songle, sugiriendo una mayor longevidad y durabilidad en su funcionamiento. El precio se convierte en un factor determinante, donde el Relé Songle resulta más asequible en comparación con el Finder, además con respecto a la disponibilidad, ambos relés son fáciles de adquirir en el mercado. En resumen, el Relé Songle se presenta como la opción más económica y óptima para la implementación del sistema.

3.2.11 Flujograma de proceso de la estación automatizada

Una vez que se seleccionó y se conectó los distintos dispositivos de la estación, se realizó un diagrama de flujo para entender el funcionamiento del proceso, como se muestra en las Figura 22Figura 23Figura 24.

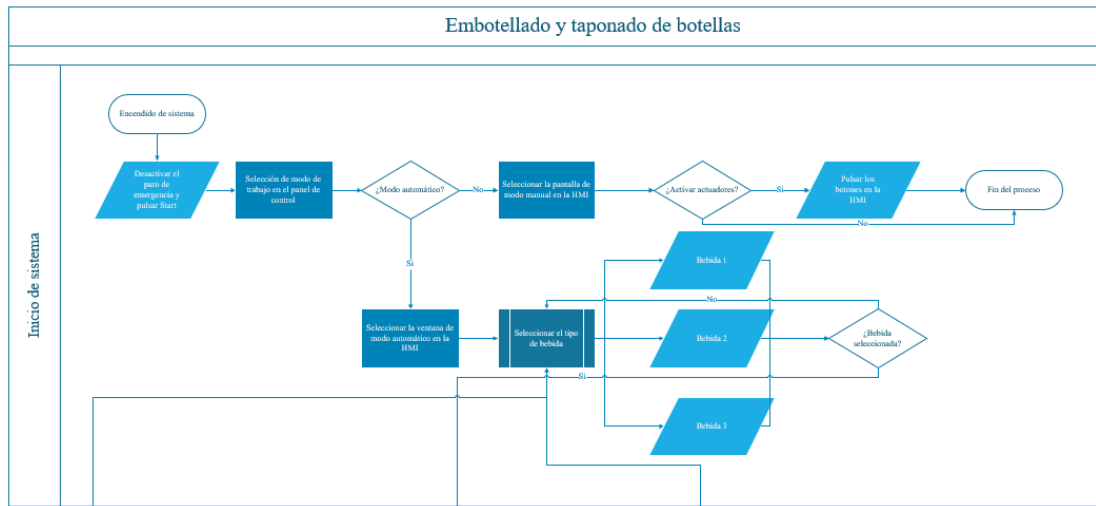


Figura 22. Etapa de encendido e inicio del sistema

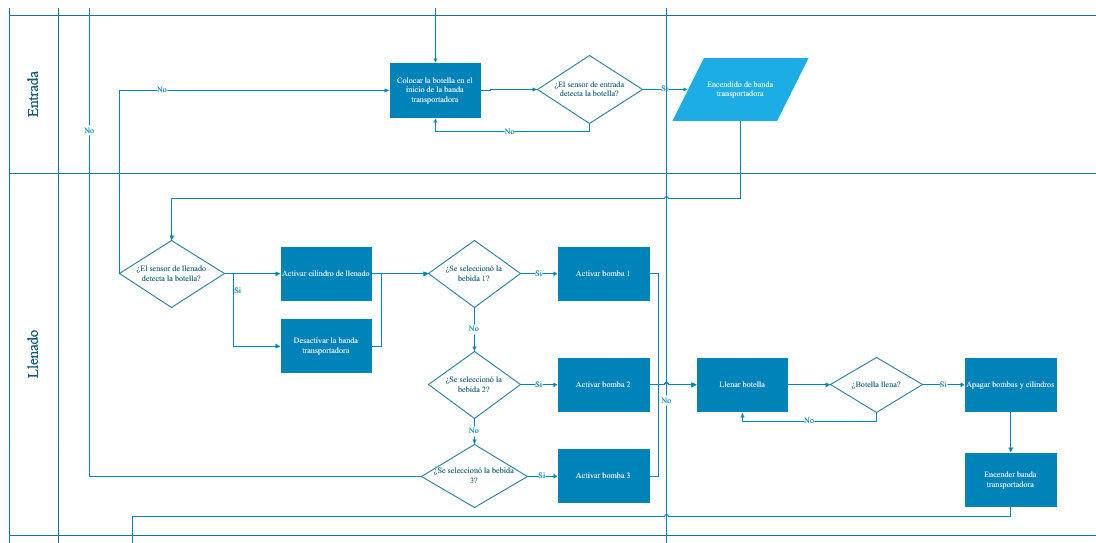


Figura 23. Etapa de entrada y llenado de botellas

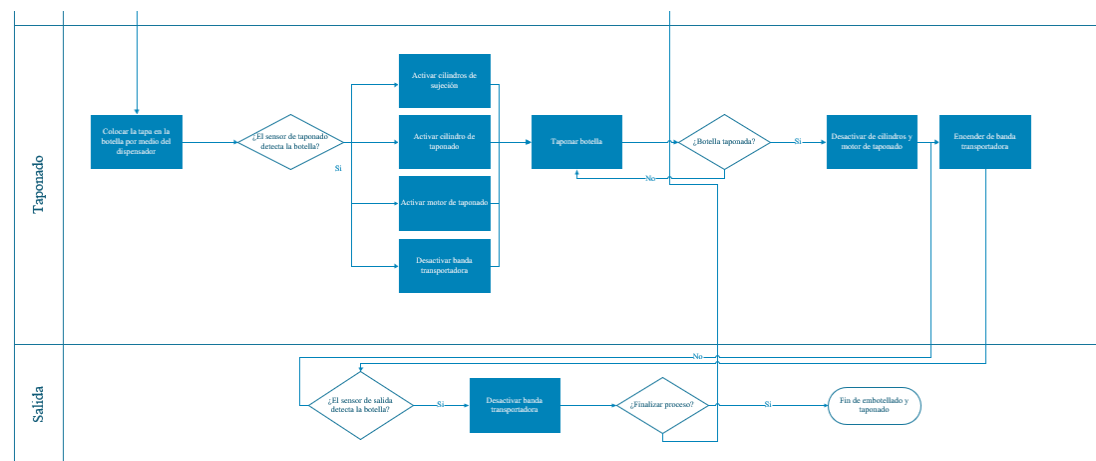


Figura 24. Etapa de taponado y salida de botellas

3.2.12 Programación de la estación automatizada en TIA PORTAL

a. Declaración de variables

Se realizó la declaración de las variables en TIA PORTAL creando tres tablas correspondientes a las entradas, marcas y salidas del controlador, en donde se almacenaron los datos e información necesaria para el correcto funcionamiento de la estación automatizada de embotellado y taponado.

En la Figura 25 se muestra el nombre de las variables de entrada que permitieron el desarrollo de la programación, además se indica el tipo de dato que es booleano debido a que solo se tuvo dos estados lógicos: true o false.

Entradas							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	 Sensor ingreso	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	 Sensor de llenado	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	 Sensor de taponado	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	 Sensor de salida	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	 Pulsador P.E	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	 Pulsador stop	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	 Pulsador start	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	 Pulsador automático	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 25. Declaración de variables de entrada

La Figura 26 y la Figura 27 indican la declaración de las variables de marcas de memoria, en donde se almacenó datos de variables como los flancos, los contadores y temporizadores, además se utilizaron marcas de control para la sincronización con la pantalla HMI, y el sistema SCADA.

Marcas							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	Start	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Stop	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Sistema encendido	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Taponado	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Llenado	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Flanco SLL	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Flanco ST	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Fin de llenado	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Fin de taponado	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	C. Llenado bajo	DInt	%MD1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	C. Llenado arriba	DInt	%MD6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Llenado_banda	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Taponado_banda	Bool	%M5.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	C.Taponado bajo	DInt	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	C.Taponado arriba	DInt	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Bebida 1	Bool	%M5.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Bebida 2	Bool	%M5.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Bebida 3	Bool	%M5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Pulsador B1	Bool	%M5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Pulsador B2	Bool	%M5.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	Pulsador B3	Bool	%M5.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	Taponado_pr	DInt	%MD100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Modo automático	Bool	%M5.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	Modo manual	Bool	%M6.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	M_banda	Bool	%M18.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 26. Declaración de variables de marcas

Marcas							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
26	M_taponado	Bool	%M18.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	M_C.Sujeción 1	Bool	%M18.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	M_C.Sujeción 2	Bool	%M18.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	M_C.Llenado	Bool	%M18.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	M_C.taponado	Bool	%M18.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	M_Bomba 1	Bool	%M18.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	M_Bomba 2	Bool	%M18.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	M_Bomba 3	Bool	%M19.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	Bebida amarilla	Bool	%M4.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	Bebida roja	Bool	%M4.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
36	Bebida azul	Bool	%M4.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
37	Botellas amarillas	Int	%MW50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38	Botellas azules	Int	%MW24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
39	Botellas rojas	Int	%MW28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
40	S_Bomba1	Bool	%M30.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
41	S_Bomba2	Bool	%M30.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
42	S_Bomba3	Bool	%M30.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
43	S_MotorB	Bool	%M30.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
44	S_MotorT	Bool	%M30.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
45	S_CS1	Bool	%M30.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
46	S_CS2	Bool	%M30.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
47	S_CLENADO	Bool	%M30.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
48	S_CTAPONADO	Bool	%M31.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 27. Declaración de variables de marcas

Finalmente se realizó la declaración de las variables correspondientes a las salidas físicas del PLC, en donde se accionaron los actuadores conectados a cada una de las direcciones que se muestra en la Figura 28.

Salidas							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	Motor taponado	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Bomba 1	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Bomba 2	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Bomba 3	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Motor banda	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Cilindro de sujeción 1	Bool	%Q8.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Cilindro de sujeción 2	Bool	%Q8.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Cilindro taponado	Bool	%Q8.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Cilindro llenado	Bool	%Q8.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Piloto paro	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Piloto banda	Bool	%Q8.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Piloto taponado	Bool	%Q8.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Piloto Llenado	Bool	%Q8.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 28. Declaración de variables de salida

b. Programación del bloque principal Main

En la Figura 29 se presenta los distintos segmentos de programación que se desarrollaron dentro del bloque principal “Main”.

▶ Título del bloque: Envasado y taponado automático de botellas
▶ Segmento 1: Selección de modo
▶ Segmento 2: Inicio del sistema
▶ Segmento 3: Banda transportadora
▶ Segmento 4: Selección de bebida
▶ Segmento 5: Llenado
▶ Segmento 6: Taponado
▶ Segmento 7: Activación manual

Figura 29. Bloque de programación Main

- ***Segmento 1: Selección de modo***

Para la programación de la estación automatizada se utiliza el lenguaje de programación KOP, inicia al seleccionar el modo de funcionamiento, ya sea manual o

automático. La primera línea del segmento 1 de la Figura 30 muestra la activación con la condición set de la marca M5.7 “Modo automático” y la desactivación con la condición reset de la marca M6.0 “Modo manual”, mediante un contacto NA el selector físico conectado a la entrada I0.7 “Pulsador automático”. Al contrario, en la línea 2 del segmento se activa la condición set en la marca M6.0 y se desactiva con la condición reset en la marca M5.7 mediante un contacto NC que indica que está desactivado el selector físico.

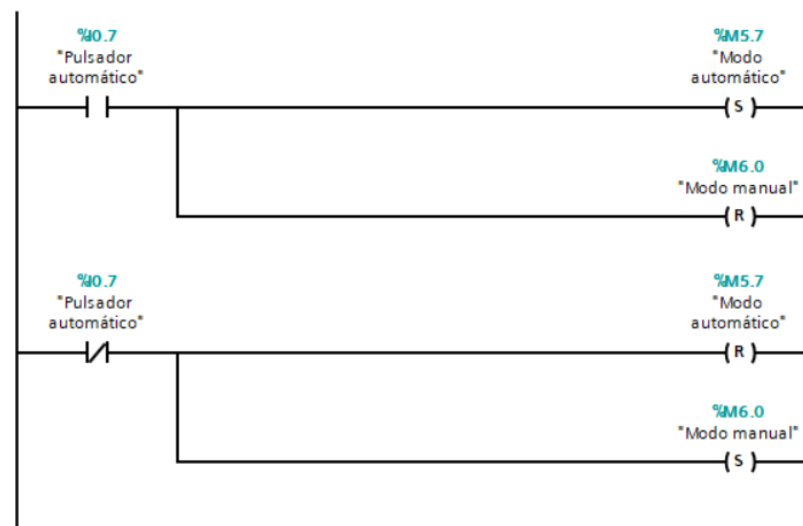


Figura 30. Segmento 1 “Selección del modo de funcionamiento”

- **Segmento 2: Inicio del sistema**

En el segmento 2 se realizó la programación de activación y desactivación de la marca M0.3 “Sistema encendido”, la cual funciona como condición inicial para que todo el sistema trabaje de manera automática. Para ello se utilizó un bloque SR (set/reset), que permite establecer o restablecer bits específicos en base a las condiciones lógicas o temporales que ingresan. Allí se aplicó las funciones lógicas AND que en el lenguaje KOP que representan contactos en serie y la función OR que representan contactos en paralelo. En la primera línea de programación del segmento 2 de la Figura 31 se muestra que el bloque SR representa la marca M0.3, la cual se activará siempre que el modo automático se habilite con la marca M5.7 y se pulse la marca M0.0 que es el pulsador start en la pantalla HMI o se pulse la entrada I0.2 que es el pulsador físico start del panel de control. Además, para restablecer o desactivar la marca M0.3 se utiliza contactos en paralelo, en donde se tiene cuatro condiciones: pulsar el stop de la

pantalla HMI que es la marca M0.1, desactivar la entrada I0.0 pulsando el paro de emergencia físico, desactivar la entrada I0.1 pulsando el botón stop físico o activar el modo manual que es la marca M6.0. Finalmente, en la segunda línea de código del segmento 2 se indica que si no está activada la marca M0.3 se encenderá la luz piloto paro que es la salida física Q0.6.

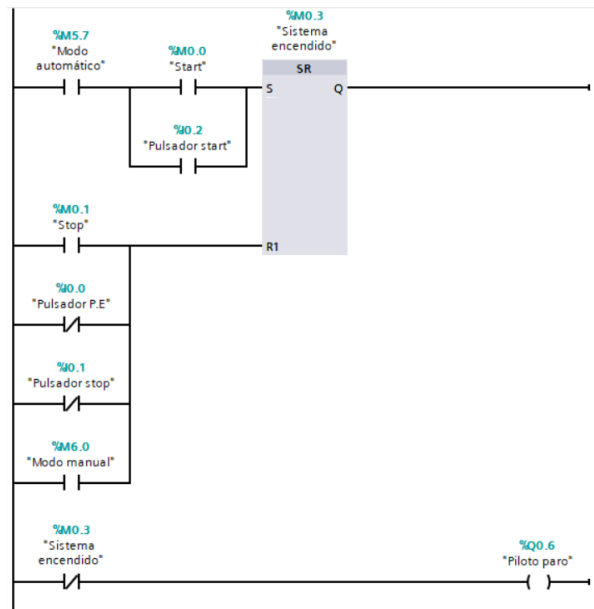


Figura 31. Segmento 2 “Inicio del sistema”

- Segmento 3: Banda transportadora

En el segmento 3 se realizó la programación para encender y apagar mediante un bloque SR el motor de la banda transportadora asignada a la salida Q0.5, en conjunto con la luz piloto de la banda correspondiente a la salida Q8.0. La Figura 32 muestra que la condición inicial para que se active el bloque es la marca M0.3 que energiza el sistema y se conecta en serie con tres condiciones que se encuentran en paralelo. La primera condición para encender el motor y la luz piloto, el sensor de ingreso I0.3 tiene que detectar la botella, y se debe seleccionar el tipo de bebida correspondientes a las marcas M5.6 “Bebida 1”, M5.1 “Bebida 2” o M5.2 “Bebida 3”. La segunda condición se ejecuta una vez finalizada la etapa de llenado activando la marca M1.0. Finalmente, en la tercera condición se debe finalizar la etapa de taponado, esto se indica con la activación de la marca M1.1.

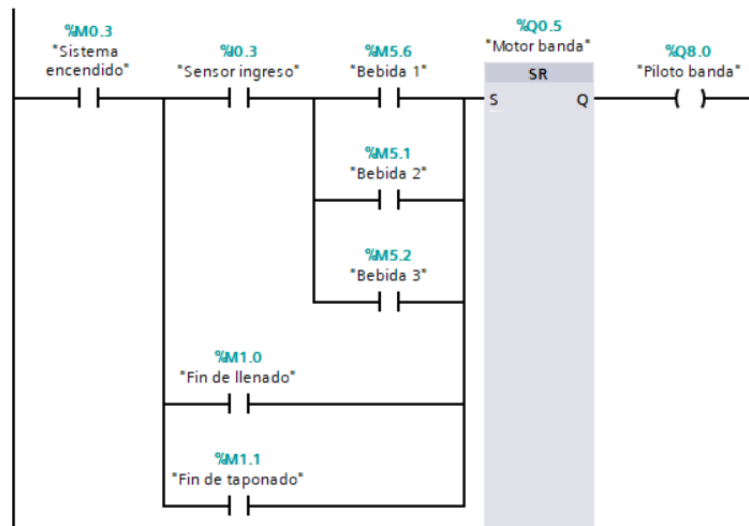


Figura 32. Activación de banda transportadora

En la Figura 33 se utilizó contactos en paralelo para que el motor de la banda se detenga, teniendo las siguientes condiciones: cuando inicie la etapa de llenado y se active la marca M0.5 “Llenado”, cuando inicie la etapa de taponado y se active la marca M0.4 “Taponado”, pulsar el stop de la pantalla HMI que es la marca M0.1, cuando el sensor de salida IO.6 detecte la botella, desactivar la entrada IO.0 pulsando el paro de emergencia físico o desactivar la entrada IO.1 pulsando el botón stop físico.

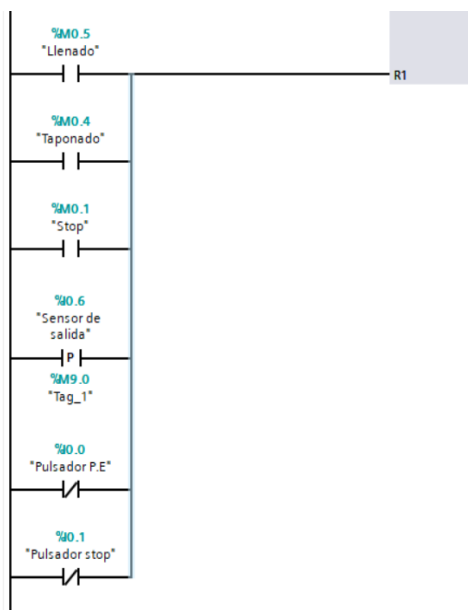


Figura 33. Desactivación de banda transportadora

- **Segmento 4: Selección de bebida**

En el segmento 4 se realizó la programación para la selección y conteo de las bebidas. En la primera línea de código de la Figura 34, se indica la condición inicial para que se active la función set del bloque M5.6 “Bebida 1”. Además, se tiene 3 condiciones para desactivar la marca M5.6 que son: al finalizar la etapa de llenado y se active la marca M1.0 “Fin llenado”, pulsar el botón stop del HMI correspondiente a la marca M0.1 o al pulsar el botón stop físico correspondiente a la entrada I0.1. En la segunda línea de código se procede al conteo de botellas, para ello se utilizó un contador CTU denominado “CONTEO_B1”, que inicia el conteo cuando el tiempo de llenado de la bebida 1 “BEBIDA_1”. Q y cuando la marca MD1 “C. Llenado bajo” correspondiente al tiempo que el cilindro de llenado está abajo sea mayor o igual que 22 segundos, envíe la señal que se llenó la botella y posterior se cuente la botella llena de la bebida y ese valor se guarde en la marca MW28 “Botellas rojas”. Finalmente, para resetear los valores del conteo se lo realiza con el paro de emergencia.

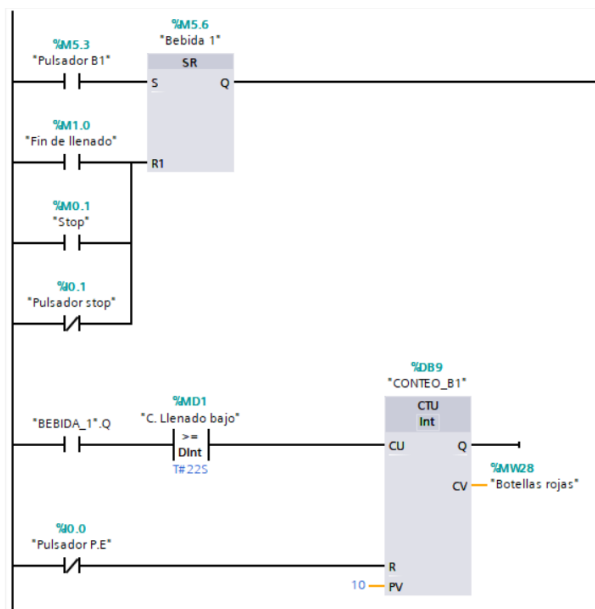


Figura 34. Selección de bebida 1

Para la selección de las bebidas 2 y 3, se realizó el mismo procedimiento para la programación utilizada para la bebida 1. En donde, la Figura 35 y la Figura 36 muestran que las condiciones de activación de los bloques M5.1 Y M5.2, se activan cuando se pulse los botones del HMI M5.4 “Pulsador B2” y M5.5 “Pulsador B3”, respectivamente. Las condiciones de desactivación son las mismas. Además, para el

conteo correspondiente varía la primera condición, ya que para cada bebida se tiene un tiempo específico de llenado “BEBIDA_2”.Q y “BEBIDA_3”.Q. Así también los contadores y las marcas de tipo Word para almacenar el número de botellas llenas son distintas para cada bebida.

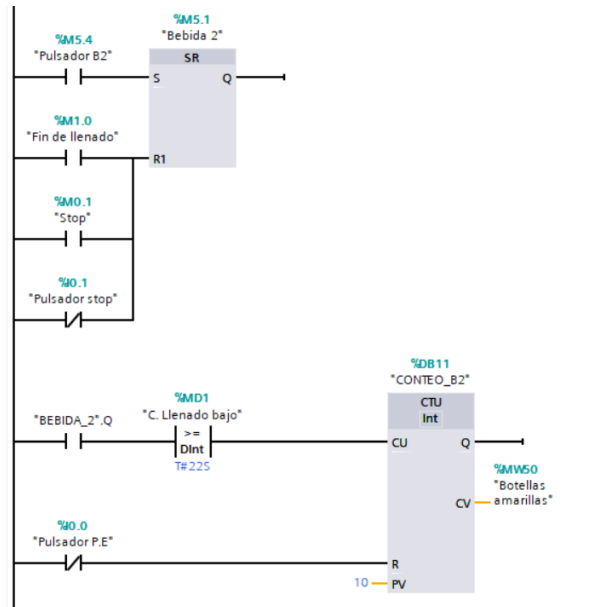


Figura 35. Selección de bebida 2

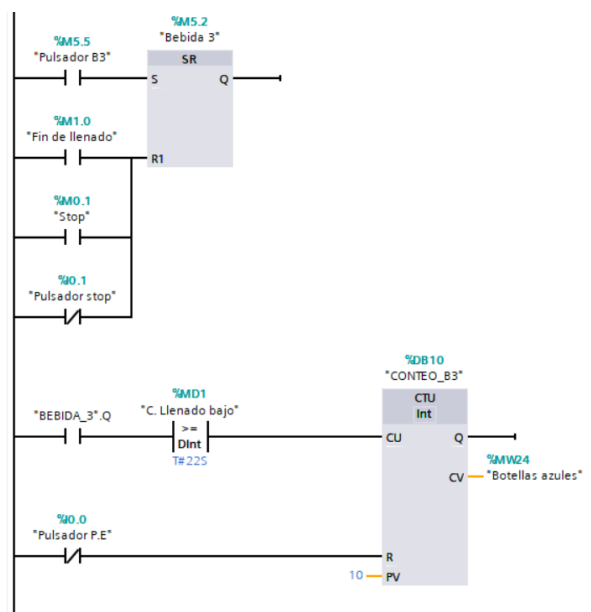


Figura 36. Selección de bebida 3

- **Segmento 5: Llenado**

La Figura 37 muestra la primera línea de programación del segmento 5, correspondiente a la activación y desactivación de la marca M0.5 “Llenado” con un bloque SR, que indica el inicio de la etapa de llenado de las botellas. En donde, si el sistema está encendido M0.3 y el sensor de llenado I0.4 detecta la botella con un flanco negativo, se activa la función set del bloque. Sin embargo, si las condiciones de desactivación que están colocadas en paralelo las cuales son: activar M0.1, desactivar I0.1 o cuando el cilindro de llenado se encuentre activo por más de 19 segundos, se procede a desactivar la marca M0.5.

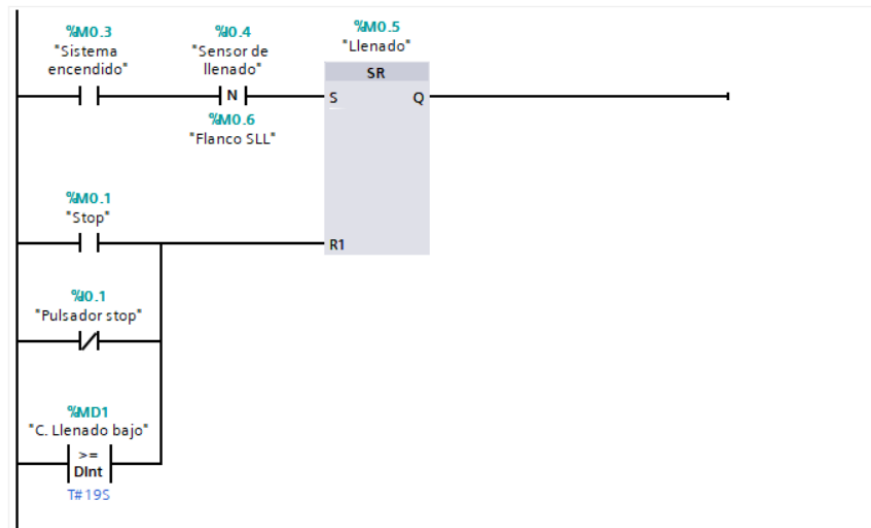


Figura 37. Inicio de etapa de llenado

Una vez encendida la marca M0.5 “Llenado”, se activa un temporizador de pulsos TP denominado “LLENADO_1”, el cual permite energizar las líneas de código por un tiempo de 23 segundos y se va contabilizando en la marca MD1 “C. Llenado bajo”. Durante ese tiempo se encienden directamente las salidas Q8.7 “Cilindro de llenado” y Q8.2 “Piloto Llenado”. Así también las bombas Q0.2 “Bomba 1”, Q0.3 “Bomba 2” y Q0.4 “Bomba 3”, las cuales tienen 2 condiciones iniciales cada una: la primera se refiere a que tipo de bebida se seleccionó es decir que marcar está activada M5.6, M5.1 o M5.2, para posterior activar los temporizadores con retardo a la conexión “BEBIDA_1”, “BEBIDA_2” o “BEBIDA_3”, los cuales permiten el paso de la energía después de 7, 6.5 y 2 segundos respectivamente, para el encendido de las bombas que cumplan las condiciones preliminares, como se observa en la Figura 38.

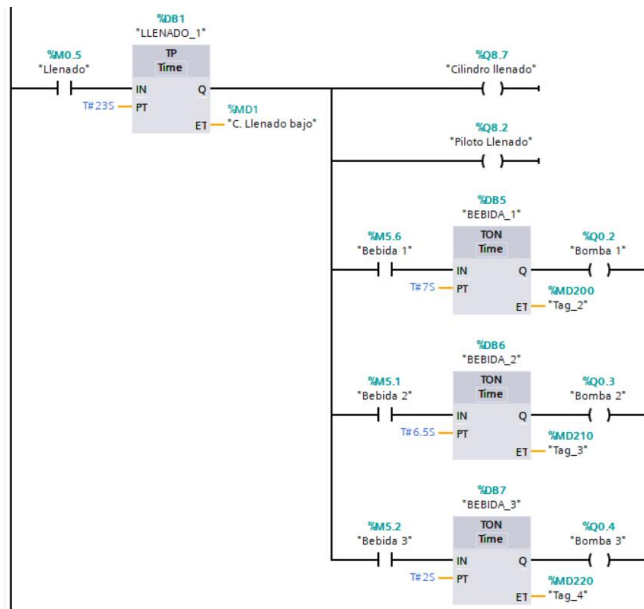


Figura 38. Encendido de cilindro y bombas de llenado

La Figura 39, muestra la segunda y tercera línea de código del segmento 5, en donde se utilizó un temporizador con retardo a la desconexión TOF denominado “LLENADO_2”, el cual funciona cuando se desactive la salida Q8.7 y permite la activación de la marca M1.2 “Llenado_banda” por 2 segundos, guardando el tiempo transcurrido en la marca MD6 “C. Llenado arriba”. Una vez activada la marca M1.0 y el tiempo en la marca MD6 sea mayor o igual a 1.5 segundos, se activa la marca M1.0 “Fin de llenado”. Esto indica que, al terminar el tiempo de llenado de la botella, se tiene un tiempo de espera de 1.5 segundos para que suba el cilindro de llenado y se vuelva activar la banda transportadora hasta la siguiente etapa.

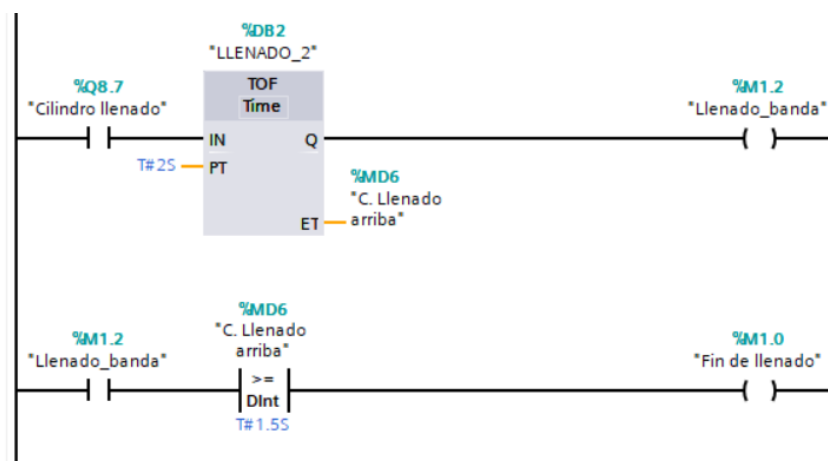


Figura 39. Fin de la etapa de llenado

- **Segmento 6: Taponado**

En la Figura 40 se muestra la activación y desactivación de la marca M0.4 “Taponado”. Al igual que en la etapa de llenado se utilizó un bloque SR, en donde las condiciones para activar la marca son que el sistema esté encendido M0.3 y el sensor de taponado I0.5 detecte la botella. Para la desactivación de la marca se tiene cuatro condiciones en paralelo las cuales son: pulsar el botón stop de la pantalla HMI correspondiente a la marca M0.1, pulsar el botón stop físico I0.3 del panel de control, cuando el cilindro de taponado esté 3 segundos abajo correspondiente a la marca MD10 “C. Taponado bajo” o cuando el sensor detecte una o más veces la botella al estar sujeta referente a la marca MD100 “Taponado_pr”.

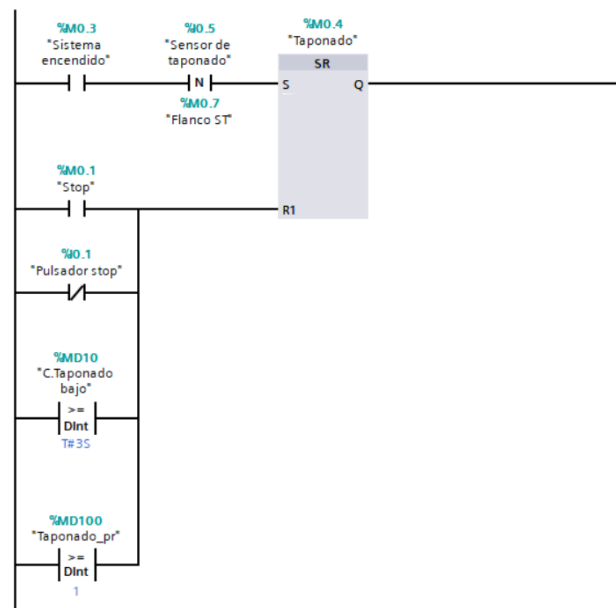


Figura 40. Inicio de la etapa de taponado

La botella al ser sujeta con los cilindros de sujeción para ser taponada se movía y hacía que el sensor de taponado detecte nuevamente la botella causando interferencia en la etapa. Para ello en la Figura 41 se utilizó un contador CTU denominado “Conteo_tapado” el cual contabiliza los bits enviados por el sensor de taponado y el número lo guarda en la marca MD100 “Taponado_pr”, que permite desactivar la marca M0.4 cuando el número de señales lógicas enviadas por el sensor sean mayor o iguales a 1. Este contador vuelve a 0 cuando se detecte una botella con el señor de llenado I0.4 o cuando se pulse el stop físico I0.1 o el stop de la HMI M0.1.

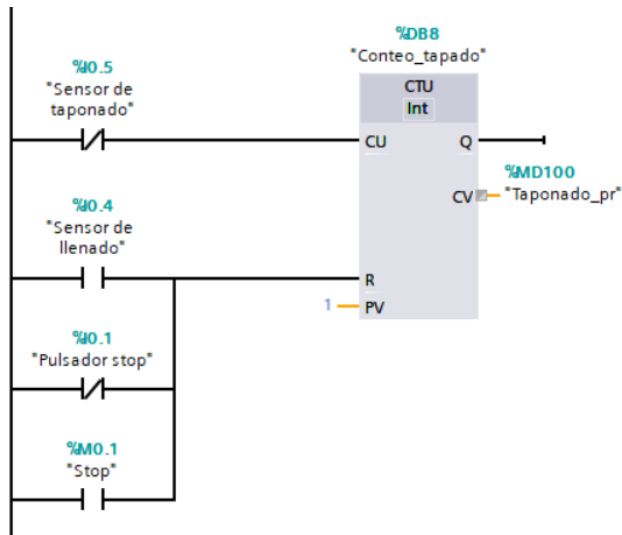


Figura 41. Conteo de bits del sensor de taponado

Una vez activada la marca M0.4, se activa un temporizador TP denominado “TAPONADO_1”, el cual permite que las salidas Q0.0 “Motor taponado”, Q8.3 “Cilindro de sujeción 1”, Q8.4 “Cilindro de sujeción 2”, Q8.5 “Cilindro taponado” y Q8.1 “Piloto taponado” se activen por un tiempo de 4 segundos, dicho tiempo se guarda en la marca MD10 “C. Taponado bajo” correspondiente al tiempo que el cilindro de taponado permanece en la posición abajo, como se observa en la Figura 42.

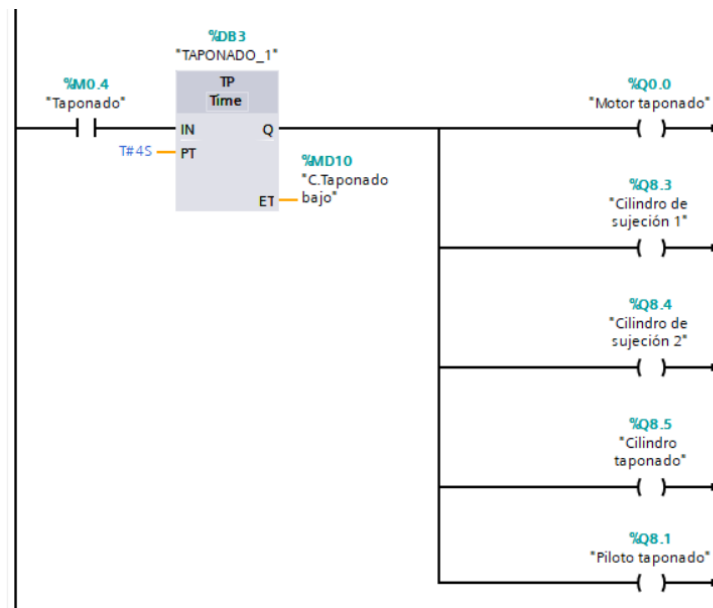


Figura 42. Activación de cilindros, luz y motor de taponado

En la Figura 43, al igual que en la etapa de llenado se tiene dos líneas de código que permiten encender la banda transportadora después de 2 segundos que se hayan

desactivado todos los actuadores de la etapa. Para ello se tiene un temporizador TOF denominado “TAPONADO_2”, que se habilita cuando se desactive la salida Q8.5 permitiendo que se active la marca M5.0 “Taponado_banda” y guardando el tiempo transcurrido en la marca MD14 “C. Taponado arriba”. Finalmente, al estar activada la marca M5.0 y el tiempo de la marca MD14 sea mayor o igual a 1.5 segundos, se active la marca M1.1 “Fin de taponado” y así se encienda el motor de la banda hasta la etapa final.

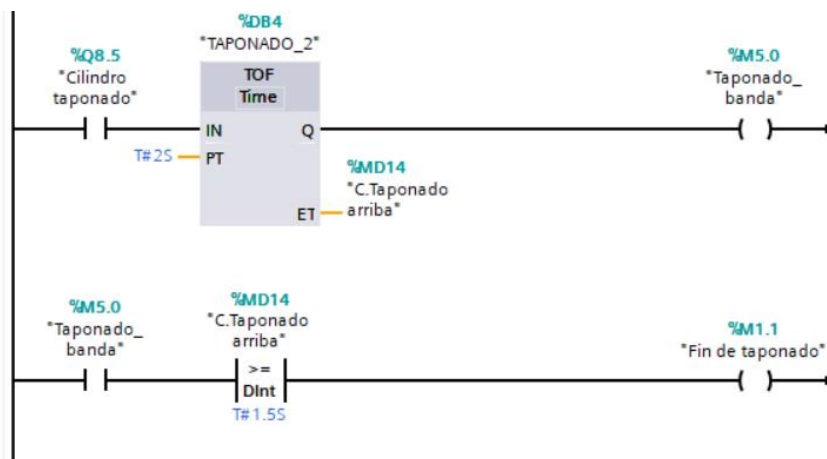


Figura 43. Fin de etapa de taponado

- **Segmento 7: Modo manual**

En la Figura 44, se presenta la programación del segmento 7, el cual se realizó en un bloque de función FC1 “FUNCION_MANUAL”, el cual se activa cuando el modo automático M5.7 esté deshabilitado.

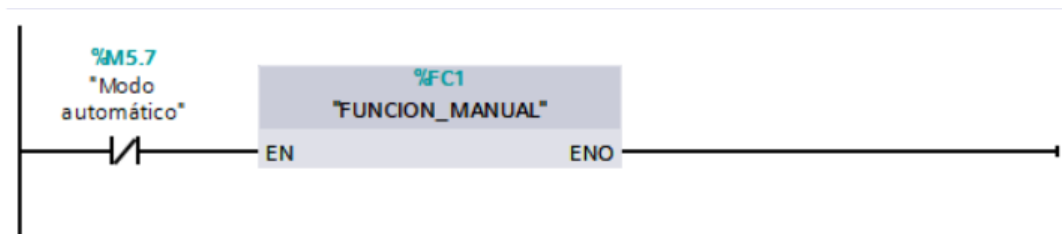


Figura 44. Segmento 7 “Modo manual”

Dentro del bloque de función FC1, se tiene la programación para activar de modo manual todos los actuadores de la estación automatizada mediante los botones de la pantalla HMI del panel de control o la pantalla HMI de Intouch Wonderware. En la

Figura 45 y en la Figura 46 se indica las condiciones en paralelo que se tiene para activar cada salida del controlador y así encender los actuadores de la estación.

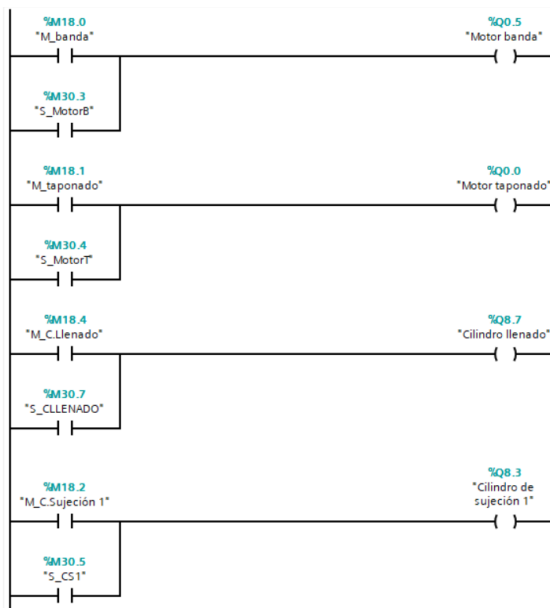


Figura 45. Activación manual de actuadores

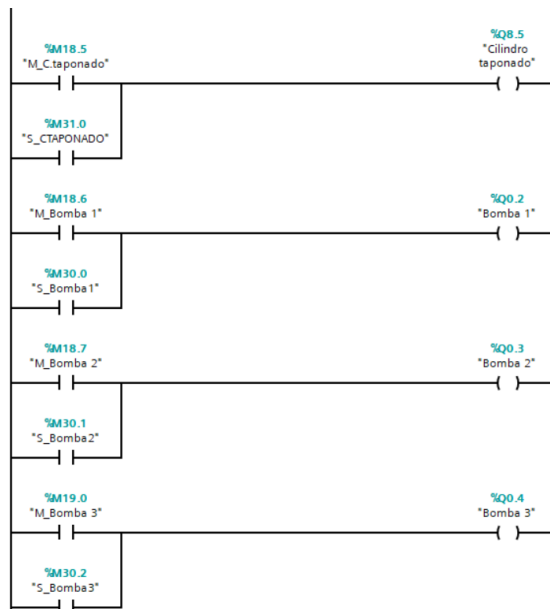


Figura 46. Activación manual de actuadores

c. Pantalla HMI

En la Figura 47 se indica la pantalla principal HMI, en donde se creó tres pantallas Automático, Manual y Alarmas, asignadas a un botón que permite la navegación entre pantallas del HMI.



Figura 47. Imagen principal de la pantalla HMI

Al seleccionar “Automático” en la pantalla principal, se abre una ventana nueva que permite el control y monitoreo del proceso automático de la estación como se muestra en la Figura 48. El diseño de esta pantalla se realizó para encender o apagar el sistema con los pulsadores “Start” y “Stop” y seleccionar el tipo de bebida a llenar. Además, se visualiza la cantidad de botellas que se llenaron, los indicadores de los motores y bombas para conocer su funcionamiento. Todos los botones e indicadores se asignaron a las variables del PLC ya sean las marcas de memoria para los pulsadores o las salidas del controlador para los indicadores.

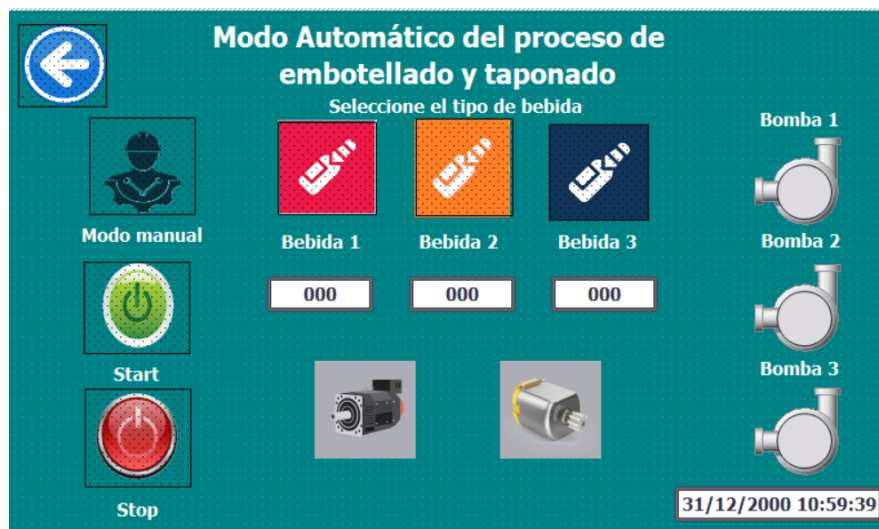


Figura 48. Imagen del modo automático de la pantalla HMI

d. Comunicación OPC

Para enlazar el SCADA en Intouch con el PLC se utilizó la tecnología de comunicación OPC, el cual permite intercambiar información entre diversos dispositivos y softwares de automatización, sin restricciones de los proveedores como se indica en la Figura 51.

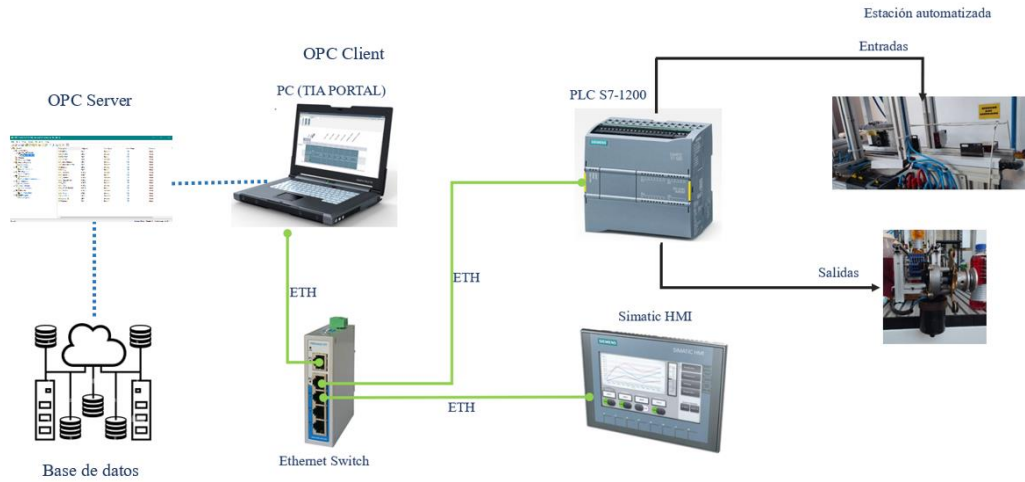


Figura 51. Comunicación OPC

En la Figura 52 se muestra la creación del canal de comunicación para Intouch y el PLC de la estación. Para ello se usó la plataforma de conectividad KEPServerEX, debido a su flexibilidad y facilidad de uso.

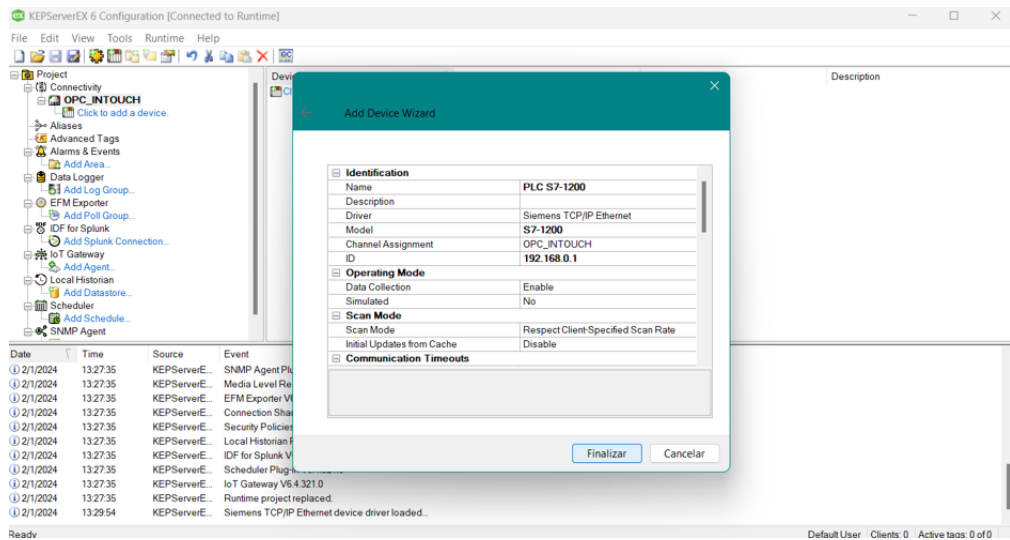


Figura 52. Creación del canal de comunicación

Una vez creado el canal de comunicación OPC, se procede a ingresar las variables del controlador necesarias para controlar y monitorizar en el proceso como se muestra en la Figura 53.

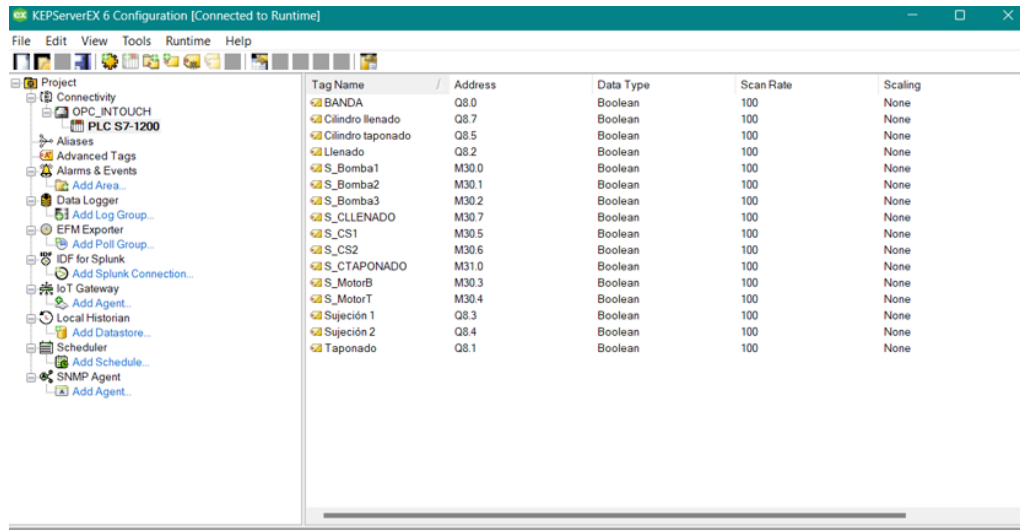


Figura 53. Ingreso de variables que se utilizaran en la comunicación

e. HMI Intouch Wonderware

Para la monitorización del proceso se creó un HMI en Intouch Wonderware, que permite la visualización de datos en tiempo real desde un ordenador y es parte del sistema SCADA del proceso. En la Figura 54, se muestra la interfaz principal en donde se debe iniciar sesión con el nombre y clave del usuario, en este caso “Gerente” que su nivel de acceso es 9999 permitiendo acceder a todos los controles y datos del proceso como se muestra en la Figura 55.

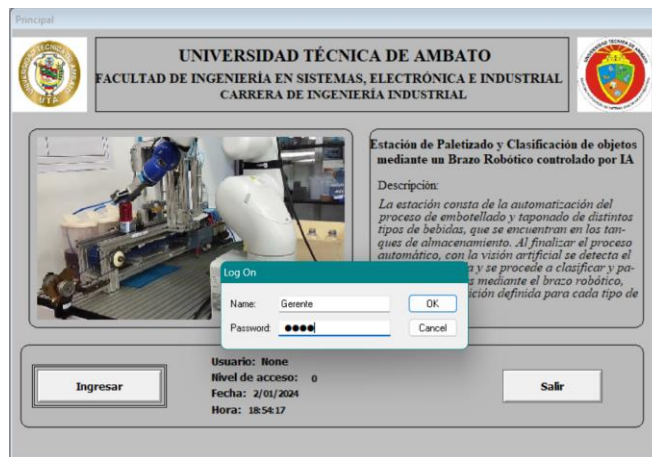


Figura 54. Inicio de sesión HMI Intouch



Figura 55. Pantalla principal HMI Intouch

Una vez se haya iniciado sesión, se selecciona el botón “Proceso” que habilita la ventana en donde se visualiza de manera gráfica y dinámica todo el proceso que se realiza en tiempo real como se muestra en la Figura 56. En esta pestaña se implementó los indicadores de cada etapa de la estación y también se puede ingresar a los actuadores para su manipulación manual o la ventana “Alarmas” para ver el estado del proceso.

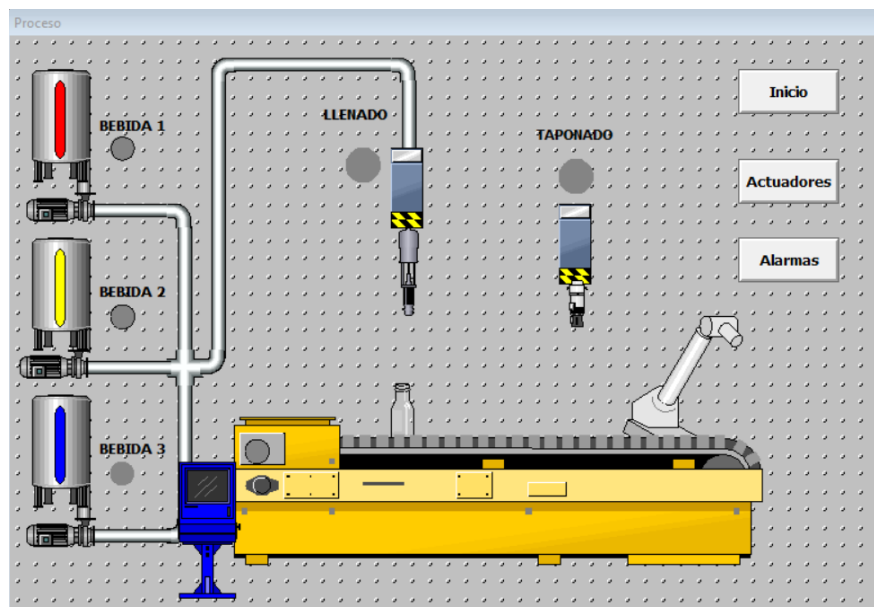


Figura 56. Pantalla del proceso de embotellado y taponado

En la ventana de “Actuadores” que se muestra en la Figura 57, se encuentran todos los dispositivos conectados a la salida del PLC con su respectivo botón, los cuales son asignados a las variables ingresadas en el canal de comunicación.

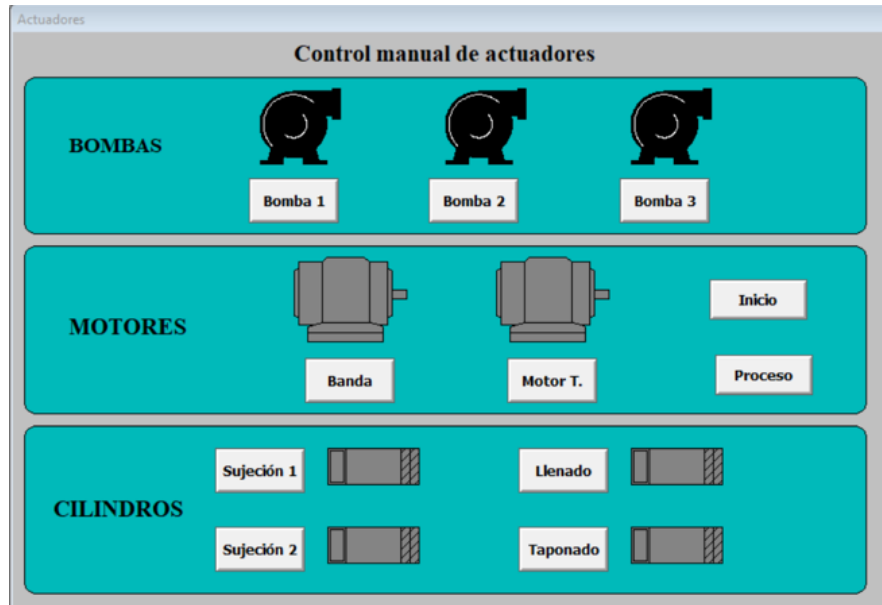


Figura 57. Pantalla de activación manual de los actuadores

Finalmente, la Figura 58 muestra los avisos y los gráficos del proceso que son necesarios para la adquisición de datos e información relevante sobre lo que sucede al ejecutarse el programa.

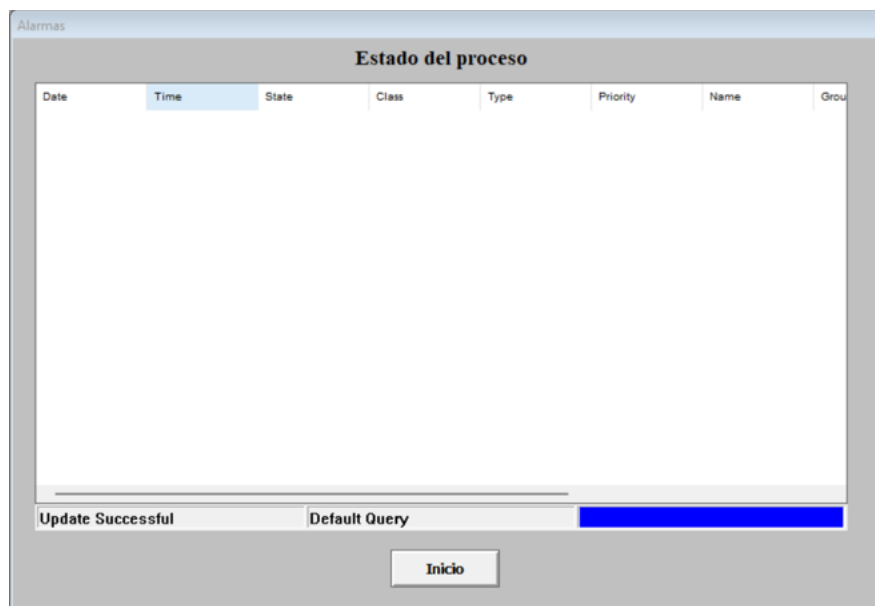


Figura 58. Pantalla de alarmas y gráficos del proceso

3.2.13 Visión Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es un campo de la informática que se centra en el desarrollo de sistemas los cuales pueden realizar tareas que normalmente requieren la

inteligencia humana. Utiliza algoritmos y modelos matemáticos para aprender de los datos, razonar, tomar decisiones y resolver problemas. A continuación, se presenta la Tabla 43 de los distintos tipos de inteligencia artificial, para la comparación de distintas características esenciales que se requiere en el sistema.

Tabla 43. Características principales de tipos de IA

Tipos de inteligencia artificial	Características			
	Uso en la Industria	Enfoque	Flexibilidad y adaptabilidad	Complejidad para la implementación
Sistemas expertos	Asesoramiento en áreas para la toma de decisiones	Reglas y conocimientos para la toma de decisiones expertas en un área determinada	Depende de la estructura de reglas y conocimientos poco adaptables a cambios sin reprogramación	Desarrollo de conocimientos y reglas con menos complejidad en relación a otras técnicas
Visión Artificial	Control de calidad, reconocimiento de objetos, reconocimiento facial, vigilancia, medicina, etc.	Análisis e interpretación de imágenes o videos para identificar patrones o características visuales de los objetos.	Alta adaptabilidad a distintos entornos y escenarios con varios tipos de datos visuales	Requiere conocimiento en procesamiento de imágenes algoritmos de visión y demanda recursos computacionales.
Redes Neuronales	Reconocimiento de patrones, procesamiento de lenguaje natural, etc.	Este modelo es basado en la estructura y funcionamiento del cerebro	Tiene la capacidad para aprender patrones de alta complejidad a partir de datos, adaptándose a varios problemas.	Diseño y entrenamiento muy complejo por la estructura y la necesidad de una gran cantidad de datos
Deep Learning	Es muy utilizado por su capacidad de aprendizaje profundo en varias tareas de visión	Es un subcampo del aprendizaje autónomo que utilizan las redes neuronales profundas	Se adapta a problemas, pero requiere de varios datos en conjunto	Necesita recursos computacionales elevados y habilidades en el manejo de las redes neuronales.
Agentes inteligentes	Utilizados en sistemas autónomos como asistentes visuales, controladores, entre otros.	Se enfoca en entidades que perciben el entorno y toman una decisión para alcanzar un determinado objetivo.	Depende netamente del diseño su adaptabilidad a distintos entornos y tareas.	Requiere un complejo modelado para adquirir información y actuar en entornos no estáticos, es decir cambiantes.

Tras lo detallado en la Tabla 43, se puede mencionar que la Visión Artificial se destaca en la industria debido a su habilidad para analizar y comprender información visual, lo cual es crucial en diversos campos, como la fabricación (control de calidad, reconocimiento de objetos), seguridad (reconocimiento facial, sistemas de vigilancia), medicina (diagnóstico por imágenes), automoción (vehículos autónomos) y más. Aunque requiere recursos computacionales significativos y datos etiquetados para su entrenamiento, su flexibilidad y adaptabilidad en diferentes situaciones visuales la convierten en una herramienta poderosa para resolver problemas complejos en el ámbito industrial. Su capacidad para interpretar y procesar datos visuales en tiempo real es fundamental en entornos donde la toma de decisiones rápida y precisa juega un papel crucial.

Dado esto se tomó como mejor opción la utilización de la visión artificial para la toma de decisiones rápida por parte del robot ya que se reconocerá los objetos (botellas) y sus distintos colores, esto servirá de base para que el robot tome decisiones y clasifique las distintas botellas que vayan llegando al final del proceso de embotellado de bebidas.

a. Reconocimiento de colores en Python

Para iniciar con el reconocimiento de colores se desarrolló un programa en el software Visual Studio Code utilizando Python, para ello se detalla a continuación la finalidad de cada línea de programación en las Figura 59, Figura 60 y Figura 61.

```

1  # Importación de librerías OPENCV Y NUMPY
2  import cv2 → Librería de visión artificial
3  import socket → Librería para intercambio de datos dentro de una
4                  red
5  # Configuración conexión TCP/IP
6  host = '192.168.0.100' → Dirección IP y puerto de comunicación
7  port = 5560           asignados
8
9  s=socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
10 s.connect((host, port))
11     ↓ Tratamiento de datos grupales guardados en la variable s y comunicación
12     mediante direccionamiento
13 # Capturar la imagen de la cámara de video
14 cap = cv2.VideoCapture(0) → Captura de video
15 cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 960) → en tiempo real,
16 cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 720) → captura de ancho
17                                     y alto específico
18
19 while True:
20     _, frame = cap.read()
21     hsv_frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
22     height, width, _ = frame.shape
23     cx = int(width / 2) → Transformación de imagen RGB
24     cy = int(height / 2) → a HSV y captura de área
25                                     determinada
26
27     # Pick pixel value
28     pixel_center = hsv_frame[cy, cx] → Obtención de
29     hue_value = pixel_center[0] → pixeles de la
30                                     imagen
31                                     capturada
32     color = "Undefined"

```

Figura 59. Programación en Python para el reconocimiento de colores

```

31     if hue_value < 5:
32         color = "RED"
33         command = 'c+'
34         s.send(str.encode(command))
35     elif hue_value > 169:
36         color = "RED"
37         command = 'c+'
38         s.send(str.encode(command))
39     elif 10 < hue_value < 36:
40         color = "YELLOW"
41         command = 'a+'
42         s.send(str.encode(command))
43         command = 'c-'
44         s.send(str.encode(command))
45     elif 95 < hue_value < 131:
46         color = "AZUL"
47         command = 'b+'
48         s.send(str.encode(command))
49         command = 'a-'
50         s.send(str.encode(command))
51
52     else:
53         color = "sin definir"
54         command = 'b-'
55         s.send(str.encode(command))
56

```

Ciclo if, definición de condiciones y valores de rango en formato HSV para cada color, envío de los datos capturados en tiempo real a la rpi

Figura 60. Programación en Python para el reconocimiento de colores

```

58 s.send(str.encode(command))
59 reply=s.recv(1024)
60 print(reply.decode('utf-8'))
61
62 pixel_center_bgr = frame[cy, cx]
63 b, g, r = int(pixel_center_bgr[0]), int(pixel_center_bgr[1]), int(pixel_center_bgr[2])
64 cv2.putText(frame, color, (cx - 200, 100), 0, 3, (b, g, r), 5)
65 cv2.circle(frame, (cx, cy), 20, (25, 25, 25), 3)
66
67 cv2.imshow('video', frame)
68 if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('s'):
69     break
70
71 cap.release()
72 s.close()
73 cv2.destroyAllWindows()

```

Envío de datos, visualización de envío en el monitor serial de Python

Obtención del pixel determinado de la imagen capturada, escritura del nombre del color identificado en la captura de video

Figura 61. Programación en Python para el reconocimiento de colores

Con la programación presentada en las Figura 59, Figura 60 y Figura 61, se puede obtener la información externa a los equipos presentes en el entorno de la estación y procesarla, es así que se toma el color de la bebida que contiene el envase una vez que llega al final de la estación automatizada, esta información es procesada con librerías propias del software y en base a dicha información obtenida se toma decisiones relacionándolo al robot EPSON para ejecutar una trayectoria de clasificación en relación a lo necesitado.

3.2.14 Entorno del Software EPSON RC+

El software EPSON RC+ es un entorno para la programación del robot de la misma marca, este software puede utilizarse para todo tipo de robot que sea instalado para su uso, este software se inicia con la selección del robot físico disponible, en este caso el robot VT6-A901S Robot de 6 ejes, este robot se selecciona en la configuración del sistema, posterior a la selección se debe ingresar el número de serie del Robot y se agregara y se configurara el software para el manejo de dicho robot, la Figura 62 muestra el robot añadido en el software



Figura 62. Robot añadido al sistema

Posterior a añadirse el robot al sistema, se puede controlar según la necesidad mediante el administrador del robot al cual se puede acceder mediante la barra de herramientas superior presente en la ventana del software, este entorno permite encender y apagar los motores, mover y enseñar puntos, definir pallets, entre otras configuraciones, la Figura 63 muestra la ventana inicial del administrador, en el cual se pueden encender o apagar los motores, mover el robot al punto home, restablecerlo si se encuentra en algún estado de error y definir la potencia.

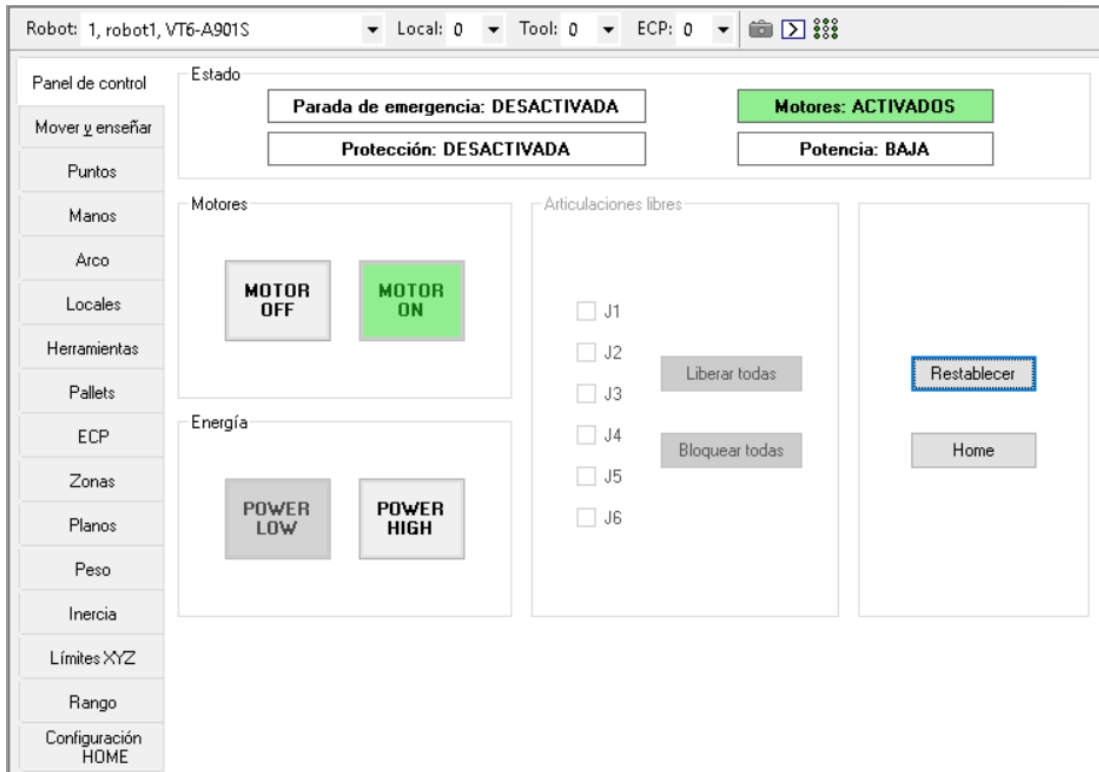


Figura 63. Panel de control del Robot

Una vez encendido los motores, se puede mover y enseñar puntos al robot, esto dirigiéndose a la pestaña del lado izquierdo denominada “Mover y enseñar”, dicha pestaña ayuda a desplazar el robot en base a su entorno, en base a la herramienta o en base a cada eje, esto según sea la necesidad, esta pestaña también tiene el objetivo de poder enseñar puntos a los cuales el robot se mueva, en la Figura 64 se describe el entorno de la pestaña mencionada con anterioridad

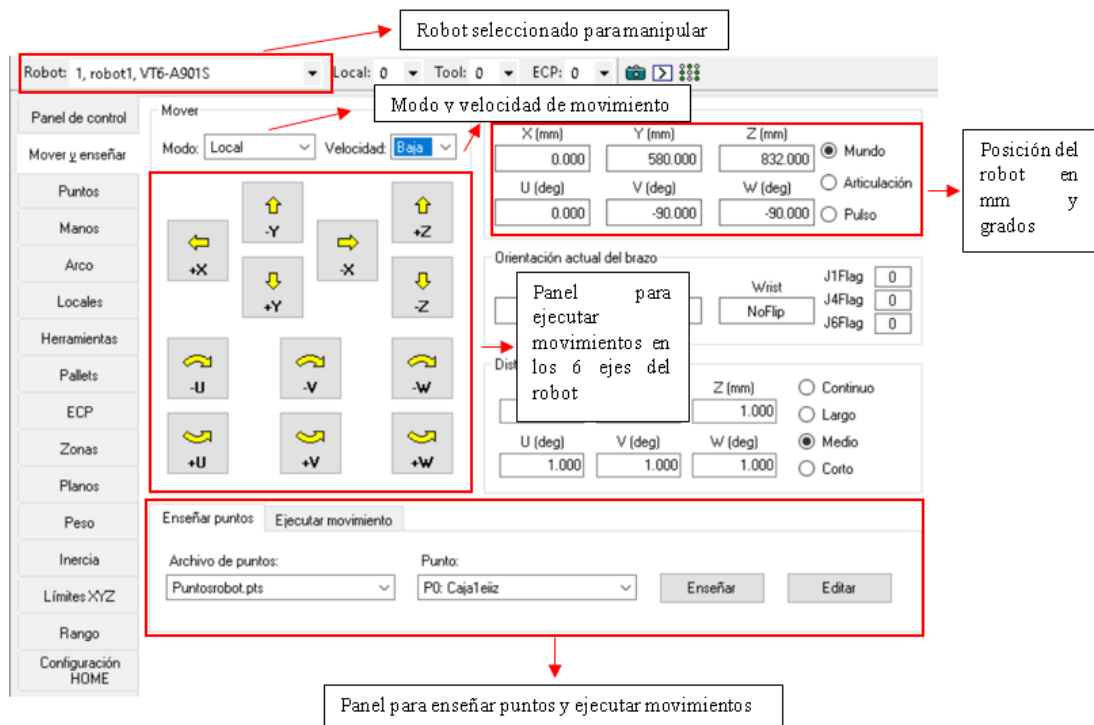


Figura 64. Entorno de la ventana Mover y enseñar

En la pestaña mostrada en la Figura 64 se puede utilizar el panel de enseñanza de puntos, mediante el cual se puede definir distintos puntos según sea la necesidad, esto se logra moviendo el robot por medio el panel, seleccionando el archivo de puntos al cual se quiere añadir dicho punto, seleccionar un punto no definido y presionar enseñar, posterior a ello los datos del punto se guarda en el archivo de puntos correspondiente, a continuación la Figura 65 muestra los pasos a seguir para enseñar puntos al robot.

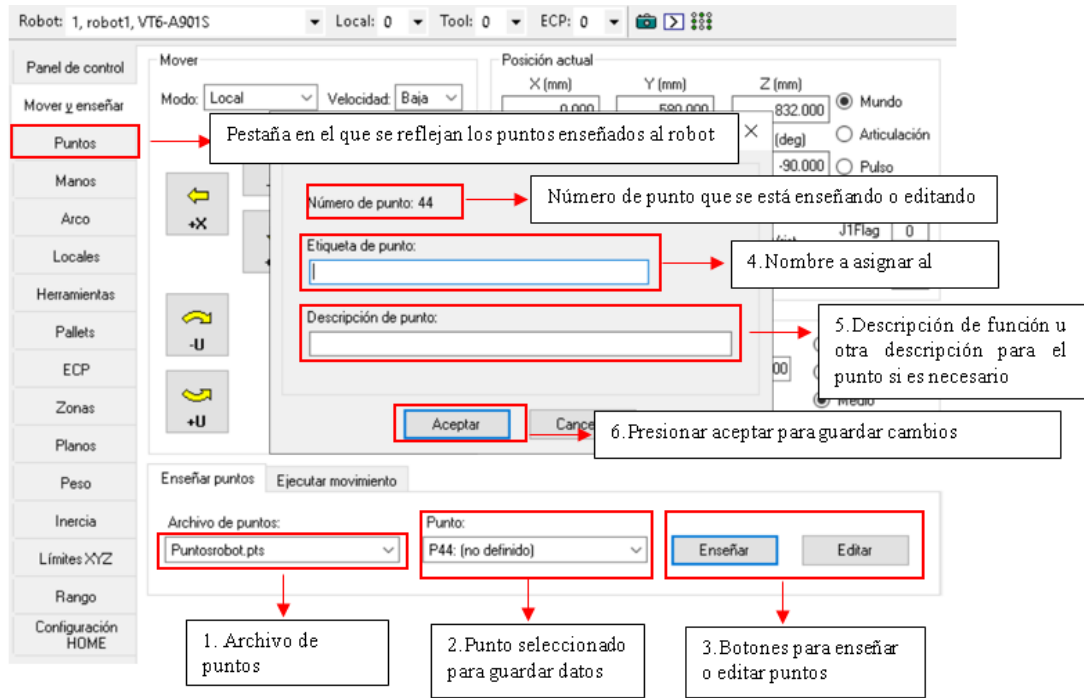


Figura 65. Enseñanza puntos al robot

Una vez realizado la enseñanza de los distintos puntos necesarios para que el robot cumpla la función en el proceso productivo, se puede añadir pallets o lugares de almacenamiento los cuales el robot aprenderá, dichos pallets se pueden añadir en la pestaña denominada con el mismo nombre, el procedimiento para la enseñanza de pallets se muestra en las Figura 66, Figura 67 y Figura 68.

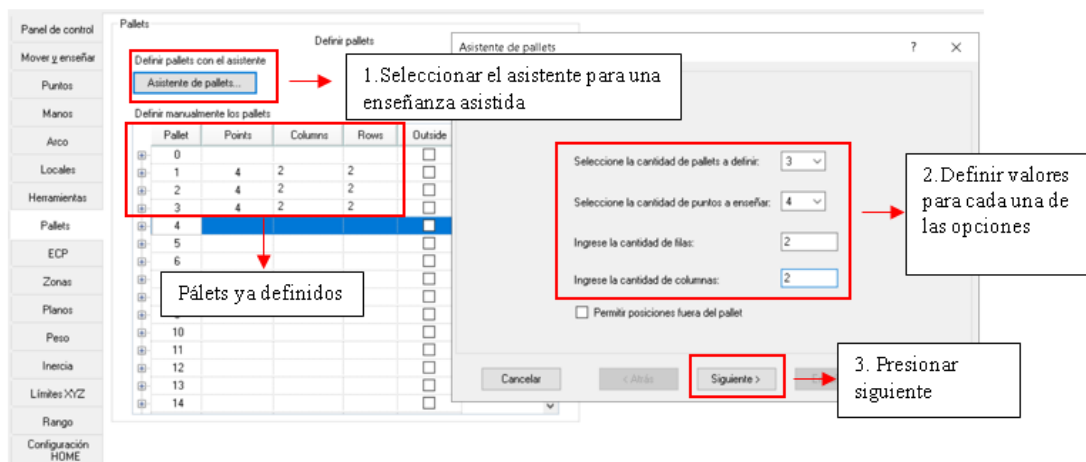


Figura 66. Paso 1 para enseñanza de pallets.

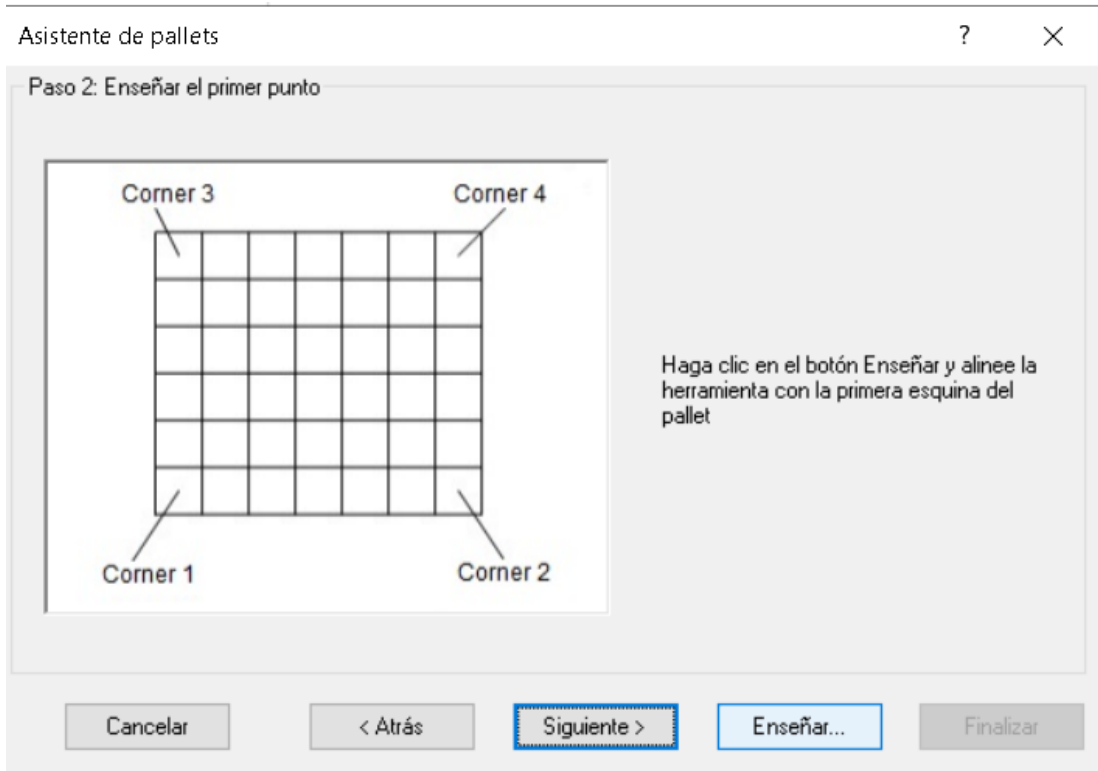


Figura 67. Paso 2 para enseñanza de pallets

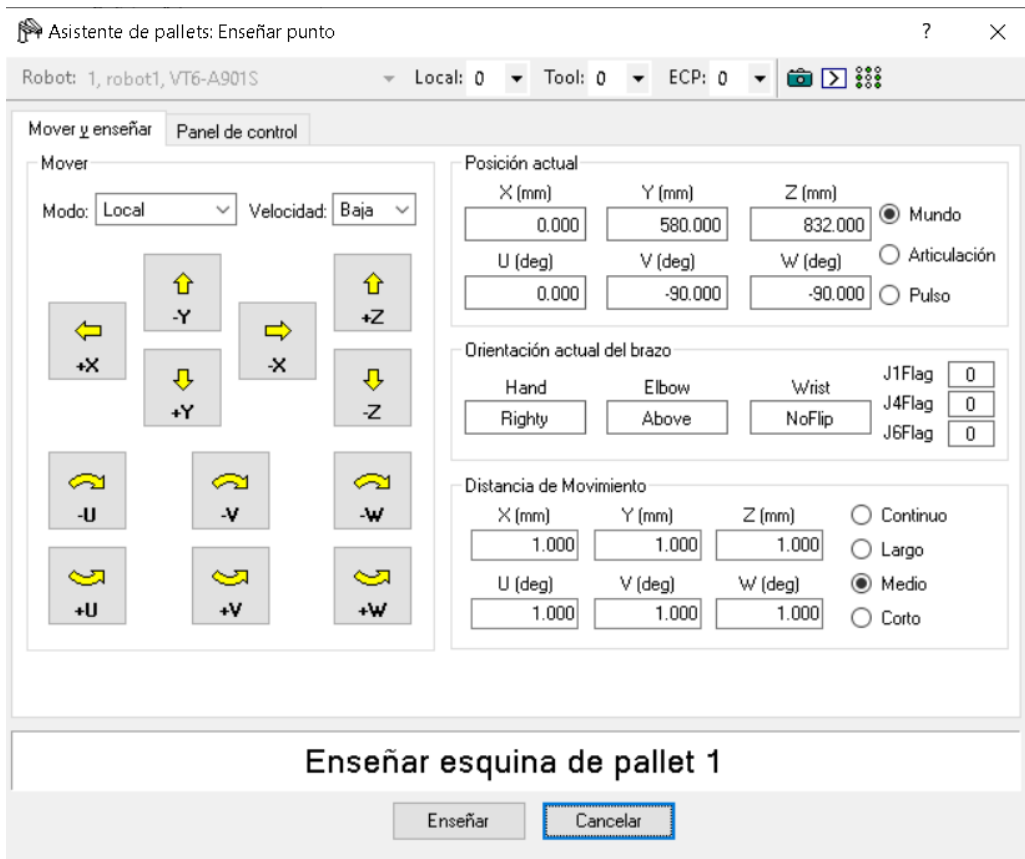


Figura 68. Enseñanza de la esquina 1 del Palet

Posterior al paso presentado en la Figura 68, se repite el procedimiento para enseñar el número de puntos designados en el primer paso del procedimiento de enseñanza de palets, una vez terminada se mostrará los datos de los palets definidos y se podrá finalizar el proceso, se guardará el o los pallets enseñados en la parte indicada en la Figura 66 denominada palets definidos.

a. Pinza colaborativa On Robot

La pinza RG2 de la marca On robot es una pinza flexible y colaborativa la cual se acopla al robot EPSON en su último eje de movimiento, el mismo funciona para la sujeción de las botellas en el proceso productivo para su posterior transporte o traslado al lugar deseado, dicha pinza se encuentra conectada a una fuente externa y a las salidas físicas del robot mediante su controlador externo denominado computer box, la Figura 69 muestra la conexión del controlador de la pinza On Robot y las salidas físicas del robot.

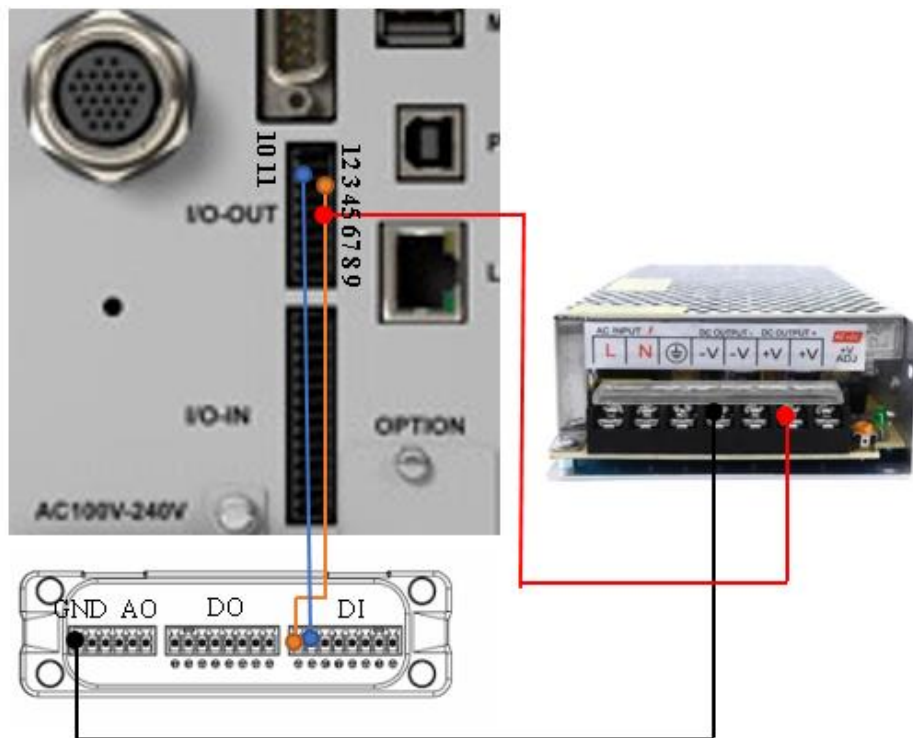


Figura 69. Conexión eléctrica entre el computer box y el robot EPSON

Una vez realizada la conexión eléctrica se debe comunicar o definir la variable para controlar la pinza mediante el entorno del software EPSON RC+, para ello se debe

definir la salida física que se está utilizando en la conexión eléctrica, para ello se siguen los pasos mostrados en las Figura 70 y Figura 71.

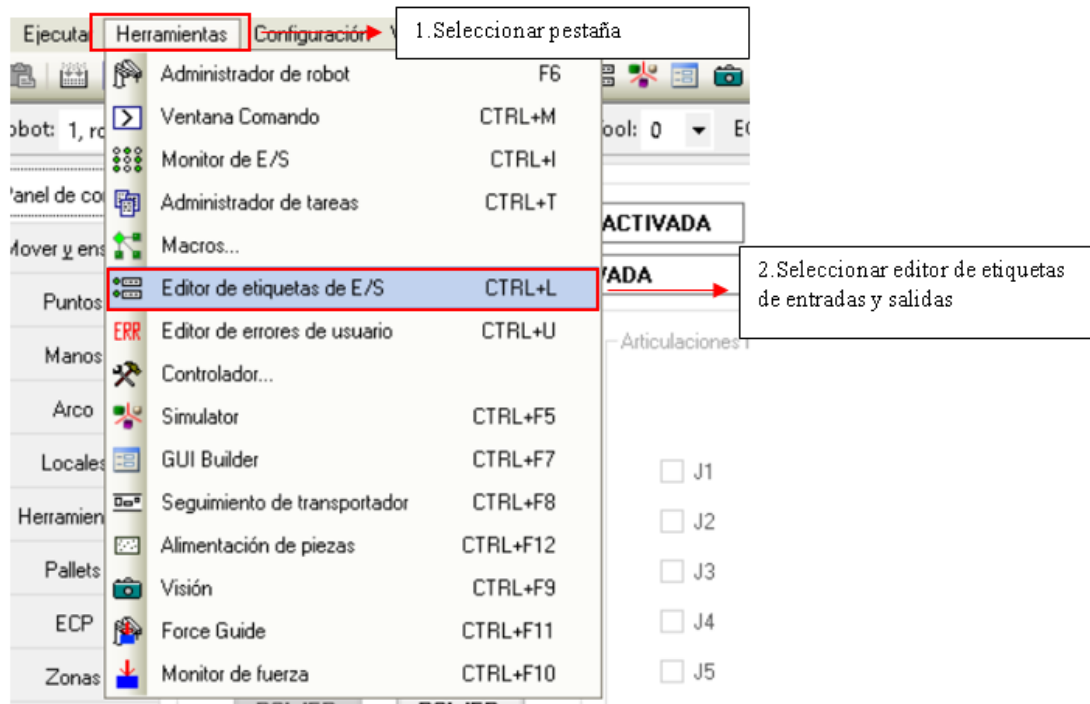


Figura 70. Comunicación de Pinza colaborativa RG2

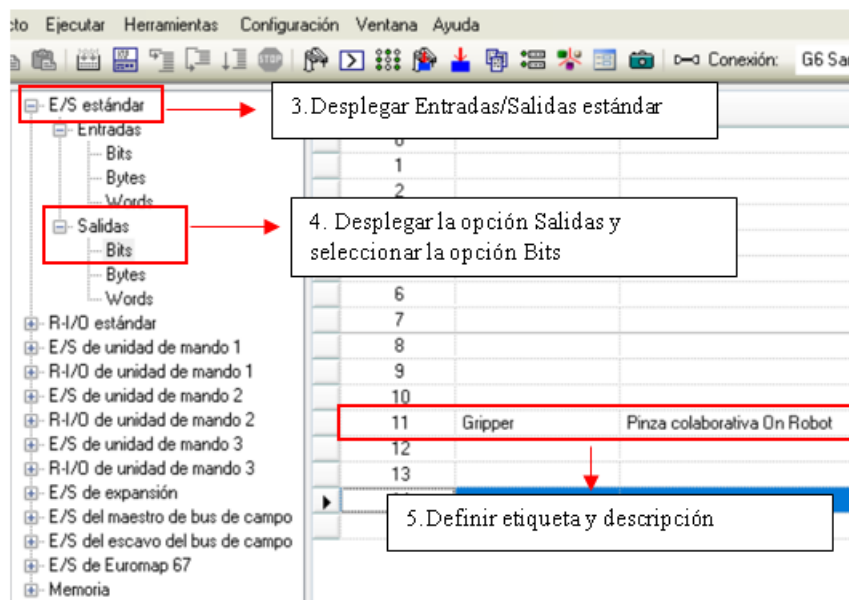


Figura 71. Comunicación de Pinza colaborativa RG2

En la Figura 71 se muestra que se asignó una etiqueta de Gripper en la salida estándar en el bit 11, esto debido a la conexión eléctrica realizada con anterioridad, ya que se conectó en la salida física número 11 del robot, de esta manera se podrá utilizar la

pinza colaborativa mediante una programación sencilla encendiendo o apagando la salida antes mencionada, con esto se logró acoplar la pinza con el fin de la colaboración para la sujeción y transporte de los envases llenos.

b. Simulación y enseñanza de trayectorias para la clasificación

La simulación se realizó en el software EPSON RC+ 7.0, el mismo que permitió seleccionar el robot físico con el que se cuenta y se pudo tener un espacio de simulación, en este software se detalló los puntos necesarios para ejecutar trayectorias independientes de paletizado en relación a los colores de bebida que se despache de la estación automatizada, dichos puntos utilizados se muestran en la Figura 72.

Número	Etiqueta	X	Y	Z	U	V	W	R
0	Caja1eiz	-625.000	101.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
1	Caja1esiz	-530.000	101.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
2	Caja1eid	-625.000	21.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
3	Caja1esd	-530.000	21.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
4	Paladobotella	-152.000	-408.000	745.000	-21.000	5.000	88.000	0.000
5	Ptomarbotella	-108.000	-525.000	360.000	-21.000	5.000	88.000	0.000
6	Pelevarbotella	-108.000	-525.000	540.000	-21.000	5.000	88.000	0.000
7	Ptraslado1	-380.000	-215.000	745.000	-60.000	4.000	88.000	0.000
8	Pencimacaja1	-480.000	30.000	478.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
9								
10	Caja2eiz	-625.000	-59.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
11	Caja2esiz	-530.000	-59.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
12	Caja2eid	-625.000	-139.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
13	Caja2esd	-530.000	-139.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
14	Pencimacaja2	-520.000	-87.000	478.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
15								
16	Caja3eiz	-625.000	-219.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
17	Caja3esiz	-530.000	-219.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
18	Caja3eid	-625.000	-299.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
19	Caja3esd	-530.000	-299.000	236.000	-88.000	18.000	103.000	0.000
20	Pencimacaja3	-480.000	-230.000	578.000	-88.000	18.000	103.000	0.000

Figura 72. Puntos enseñados al robot en el entorno

Esto puntos tienen relación a la trayectoria que marcará el robot para las actividades que se necesita que realice, además se asignó una cantidad de tres pallets en el entorno del robot, cada pallet con la capacidad de cuatro botellas por cada uno, dichos pallets almacenarán un solo color de bebida independientemente, buscando así una correcta clasificación y paletizado. La Figura 73 muestra los pallets asignados en el entorno del robot mediante cuadrículas de color verde con el espacio destinado para cada botella

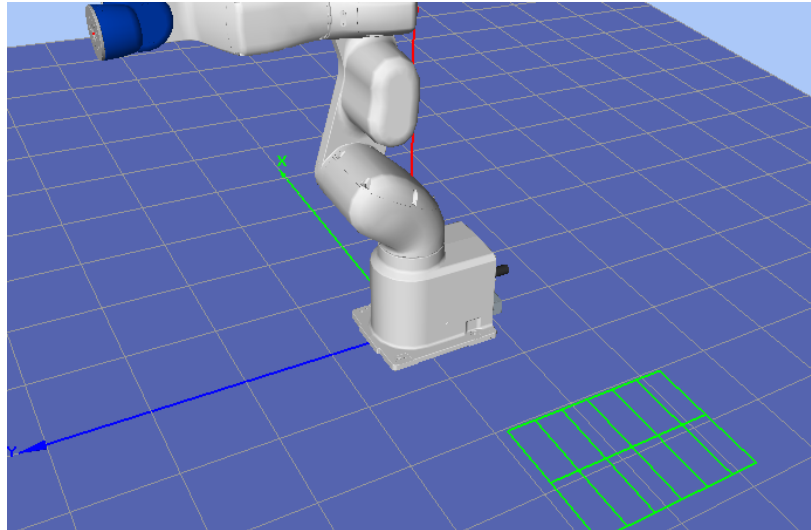


Figura 73. Pallets asignados para la clasificación

Posterior a la determinación de los pallets, se enseñaron distintos puntos al robot para la ejecución de trayectorias basadas en la clasificación de las botellas, varios puntos serán repetitivos y otros serán únicos para cada pallet designado, dichos puntos se muestran en el entorno del simulador como se puede observar en la Figura 74.

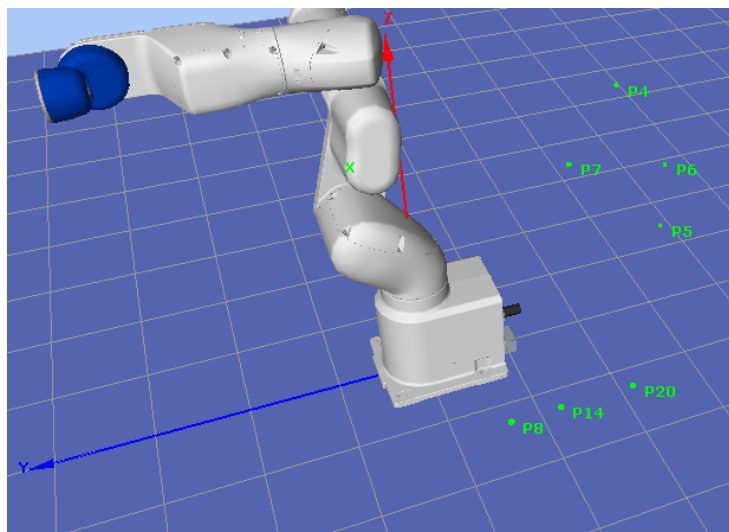


Figura 74. Puntos de trayectoria y movimiento

Además, se presenta la visualización de los puntos destinados a la descarga de cada botella para el paletizado correspondiente, estos puntos son los asignados para el espacio que cada botella ocupara, esto se muestra en la Figura 75.

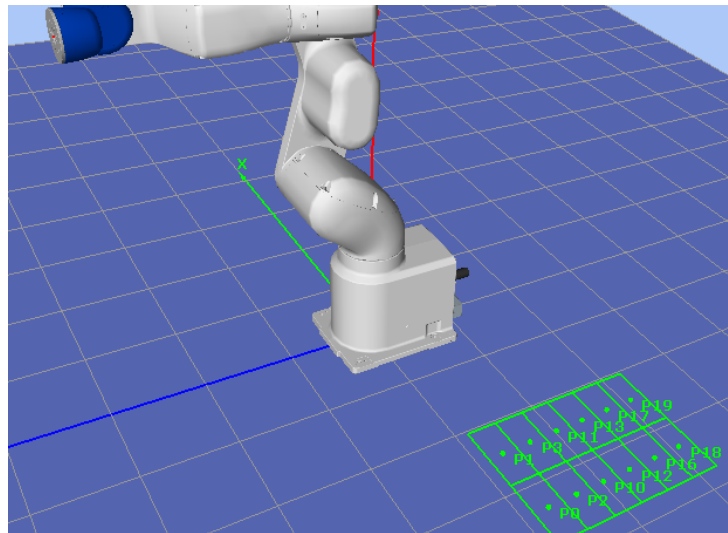


Figura 75. Puntos de ubicación de botellas

Para la ejecución de trayectorias con la utilización de los puntos enseñados al robot se recurre a la ventana de programación en la cual se define los pallets y los distintos puntos que va a recorrer para la clasificación de las botellas, a continuación, se detalla cada línea de programación con su propósito dentro del entorno robótico, como se muestra en las Figura 76 y Figura 77.

<pre> Main.prg * Global Integer i Global Integer j Global Integer k Function main Motor On Power High Speed 50 Accel 30, 30 Off Gripper Wait 0.1 Do If Sw(12) = 1 Then Call Amarillo EndIf If Sw(14) = 1 Then Call Azul EndIf If Sw(15) = 1 Then Call Rojo EndIf Loop Fend </pre>	<p>Variables globales para cada pallet</p> <p>Nombre de la función actual</p> <p>Encendido de motores, potencia alta, velocidad de 50 y aceleración de 30 de los mismos</p> <p>Ciclo Do, se mantiene ejecutando constantemente</p> <p>Ciclo if, condicional, si la entrada física 12, 14 o 15 del robot se activa, se llamará a las funciones Amarillo, Azul o Rojo respectivamente según sea el caso</p>	<pre> Amarillo.prg Function Amarillo If Sw(12) = 1 And j < 1 Then Go Paladobotella Go Ptomarbotella On Gripper Wait 0.4 Go Paladobotella Move Ptraslado1 Move Pencimacajal Move Cajaleiiz Off Gripper Wait 0.4 Move Pencimacajal j = j + 1 EndIf If Sw(12) = 1 And j = 1 Then Go Paladobotella Go Ptomarbotella On Gripper Wait 0.4 Go Paladobotella Move Ptraslado1 Move Pencimacajal Move Cajalesiz Off Gripper Wait 0.4 Move Pencimacajal j = j + 1 EndIf </pre>	<p>Nombre de la función actual</p> <p>Ciclo If, si la entrada física del robot se activa y el valor de j es menor a 1 el robot se traslada al primer punto del pallet destinado al color amarillo</p> <p>Trayectoria de puntos marcada para la secuencia del robot</p> <p>Aumento del valor de la variable en 1 unidad</p> <p>Encender el robot colaborativo On Robot (cerrar) y tiempo de espera</p> <p>Apagar el robot colaborativo Off Robot (abrir) y tiempo de espera</p>
---	---	--	--

Figura 76. Programación robot EPSON

```

Azul.prg
Function Azul
If Sw(14) = 1 And k < 1 Then
Go Paladobotella
Go Ptomarbotella
On Gripper
Wait 0.4
Go Paladobotella
Move Ptraslado1
Move Pencimacaja2
Move Caja2eiiz
Off Gripper
Wait 0.4
Move Pencimacaja2
k = k + 1
EndIf

If Sw(14) = 1 And k = 1 Then
Go Paladobotella
Go Ptomarbotella
On Gripper
Wait 0.4
Go Paladobotella
Move Ptraslado1
Move Pencimacaja2
Move Caja2esiz
Off Gripper
Wait 0.4
Move Pencimacaja2
k = k + 1
EndIf

Rojo.prg
Function Rojo
If Sw(15) = 1 And i < 1 Then
Go Paladobotella
Go Ptomarbotella
On Gripper
Wait 0.4
Go Paladobotella
Move Ptraslado1
Move Pencimacaja3
Move Caja3eiiz
Off Gripper
Wait 0.4
Move Pencimacaja3
i = i + 1
EndIf

If Sw(15) = 1 And i = 1 Then
Go Paladobotella
Go Ptomarbotella
On Gripper
Wait 0.4
Go Paladobotella
Move Ptraslado1
Move Pencimacaja3
Move Caja3esiz
Off Gripper
Wait 0.4
Move Pencimacaja3
i = i + 1
EndIf

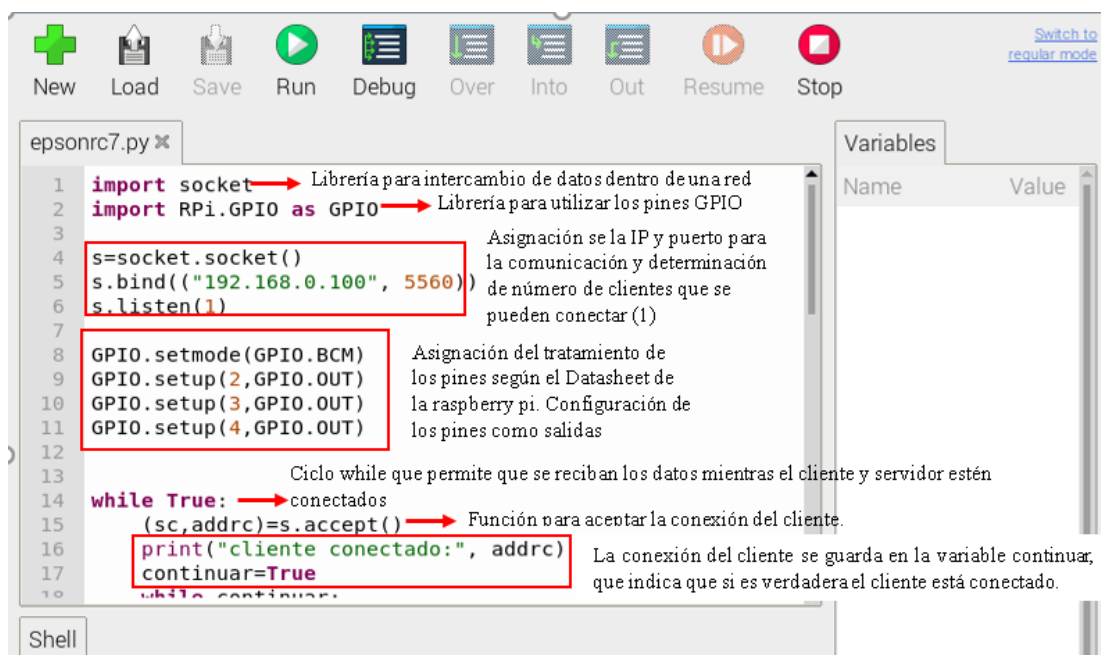
```

Figura 77. Programación de los colores restantes

La programación presentada en Figura 76 y Figura 77 tiene un lenguaje SPEL+ , además de los detalles presentados en la misma cabe recalcar que existe una función para cada color (amarillo, azul y rojo), presentando en su contenido la única diferencia de los puntos definidos, ya que existe un pallet para cada color, estos puntos designados a cada botella son los que difieren de una función a otra. Además, al ejecutar el programa, se ejecutará el programa “Main”, ya que este es el programa principal que contiene a los programas secundarios, una vez llenados los pallets deberá ser ejecutado nuevamente el programa para su inicio desde cero. Con esto se finaliza las trayectorias y puntos establecidos para la clasificación y paletizado de las botellas según su color de bebida que ha sido embazada con anterioridad, una vez realizada la simulación se puede comprobar y operar en el robot físico simplemente cambiando el tipo de conexión en el software EPSON RC+.

3.2.15 Comunicación para el funcionamiento único del sistema

Para la comunicación entre la visión artificial en Python y el robot EPSON con su controlador se utilizó la comunicación TCP/IP, mediante el uso de una raspberry pi, la misma que enviará señales al controlador mediante sus puertos GPIO (General Purpose Input Output), según la programación implementada en la misma, a continuación, en la Figura 78, Figura 79 y Figura 80 se presenta la programación de la raspberry pi para su funcionamiento en conjunto con la cámara y el robot EPSON



```
1 import socket → Librería para intercambio de datos dentro de una red
2 import RPi.GPIO as GPIO → Librería para utilizar los pines GPIO
3
4 s=socket.socket()
5 s.bind(("192.168.0.100", 5560))
6 s.listen(1)
7
8 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
9 GPIO.setup(2,GPIO.OUT)
10 GPIO.setup(3,GPIO.OUT)
11 GPIO.setup(4,GPIO.OUT)
12
13
14 while True: → ciclo while que permite que se reciban los datos mientras el cliente y servidor estén
15     (sc,addrc)=s.accept() → función para aceptar la conexión del cliente.
16     print("cliente conectado:", addrc)
17     continuar=True
18     while continuar:
```

Asignación se la IP y puerto para la comunicación y determinación de número de clientes que se pueden conectar (1)

Asignación del tratamiento de los pines según el Datasheet de la raspberry pi. Configuración de los pines como salidas

La conexión del cliente se guarda en la variable continuar, que indica que si es verdadera el cliente está conectado.

Name	Value
------	-------

Figura 78. Programación de la raspberry pi

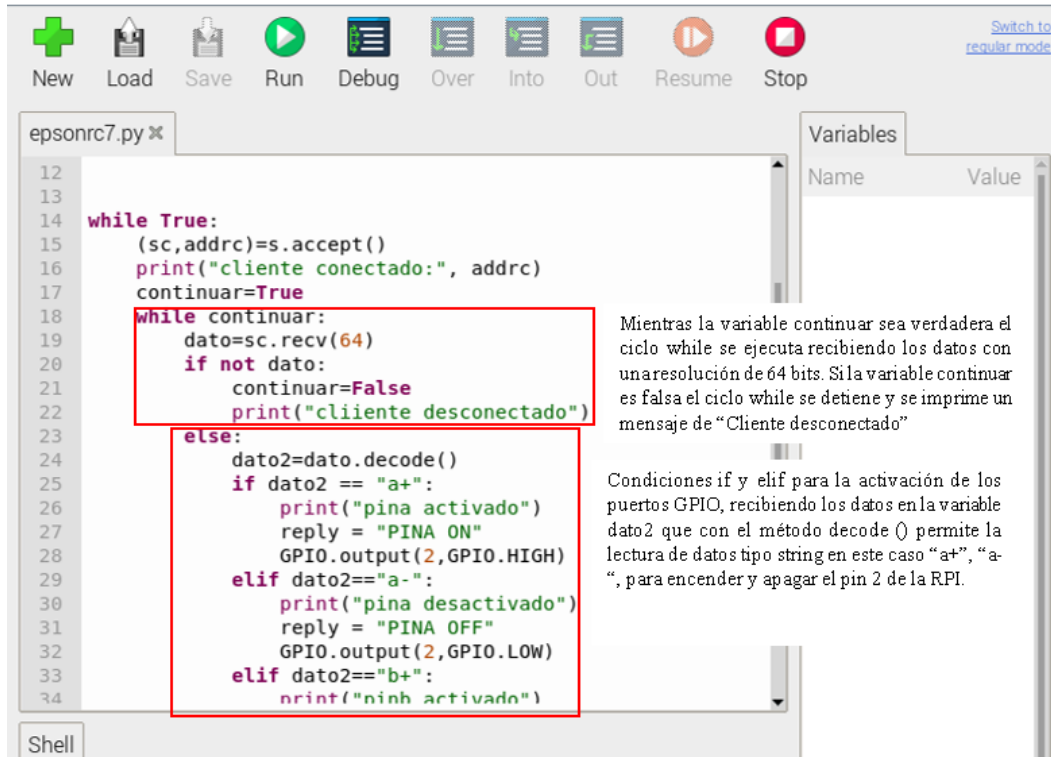


Figura 79. Programación de la raspberry pi

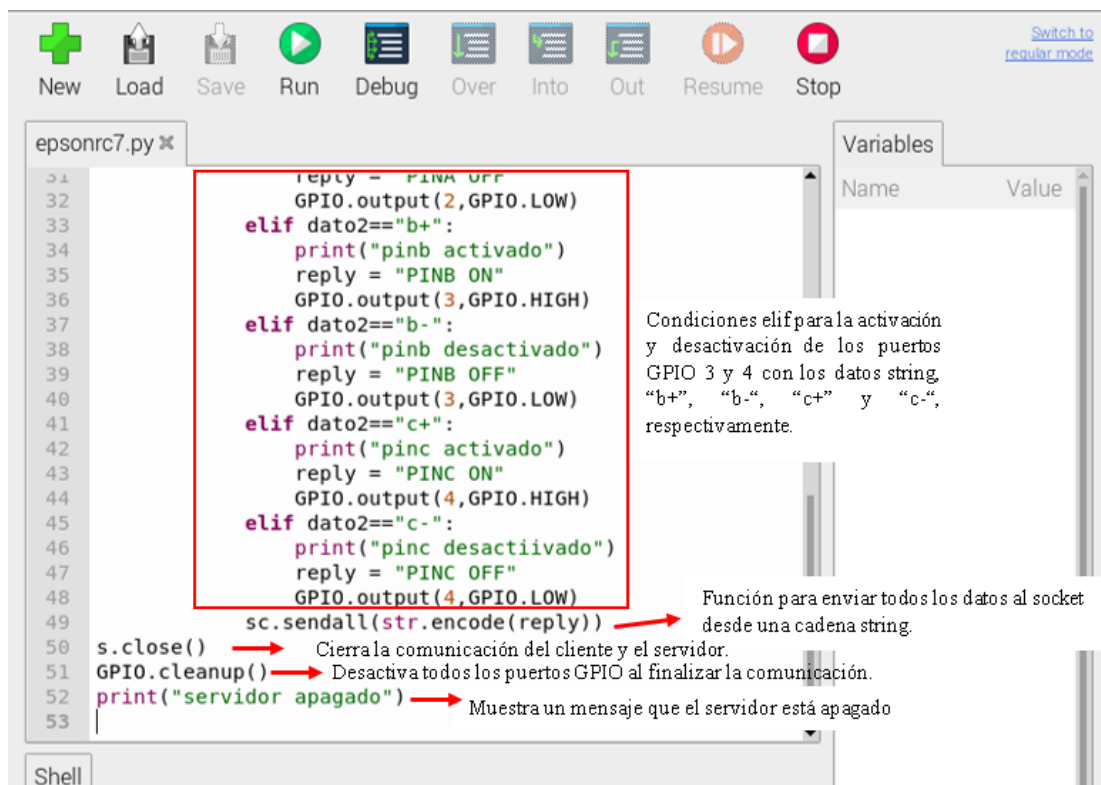


Figura 80. Programación de la raspberry pi

La programación realizada en el entorno de la raspberry pi se encuentra enlazada a la programación realizada en python mediante visual studio, por ello es que las líneas de código son similares a las presentadas en la programación de la visión artificial, una vez programada se debe realizar la conexión de la raspberry pi con las entradas físicas del robot, para ello se tuvo una placa de intermediario en la cual se integró transistores MOSFET para conmutar y amplificar la señal enviada desde los puertos GPIO de la raspberry pi, como se puede observar en la Figura 81

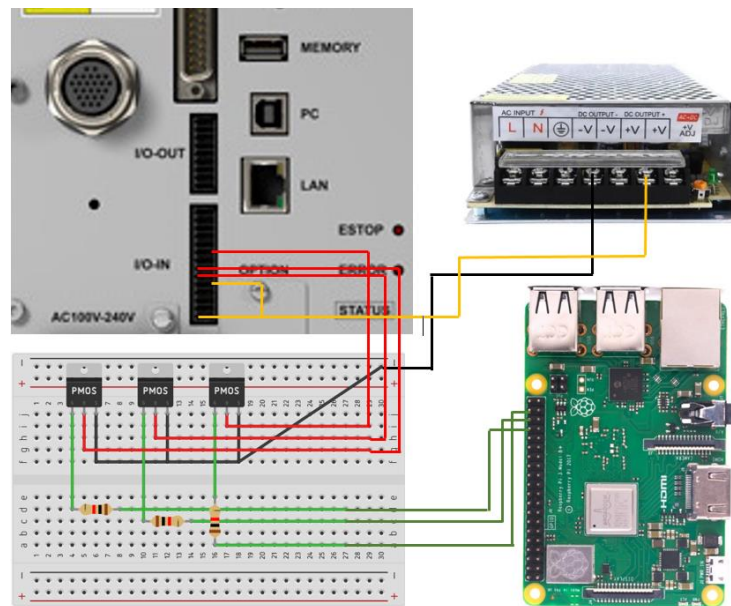


Figura 81. Conexión raspberry pi y entradas del robot EPSON

La Figura 81 muestra la conexión de la raspberry pi con las entradas físicas del robot, dichas entradas son las entradas 12, 14 y 15. Dichas entradas son utilizadas en la programación del robot EPSON y asignadas a cada color a reconocer por medio de la visión artificial (amarillo, azul y rojo respectivamente), de esta manera se enlaza la programación interna de estos dispositivos con las conexiones físicas realizadas.

3.2.16 Pruebas de funcionamiento

a. Pruebas de visión artificial

Para las pruebas de funcionamiento se enfocó en el correcto reconocimiento de los colores de las bebidas por medio de la visión artificial, su comportamiento, envío de

datos y funcionamiento correcto, así como también el comportamiento de la estación robotizada al detectar dichos colores, en la Tabla 44 se muestra las pruebas realizadas y los datos obtenidos en relación a la visión artificial y el reconocimiento de los distintos colores presentes

Tabla 44. Pruebas de funcionamiento de la visión artificial

Pruebas de visión artificial implementada en el sistema					
Bebida amarilla		Bebida roja		Bebida Azul	
Hora	Acción	Hora	Acción	Hora	Acción
19/12/2023 14:00	Botella 1	19/12/2023 14:01	Botella 1	19/12/2023 14:01	Botella 1
19/12/2023 14:02	Botella 2	19/12/2023 14:02	Botella 2	19/12/2023 14:03	Botella 2
19/12/2023 14:03	Botella 3	19/12/2023 14:04	Botella 3	19/12/2023 14:04	Botella 3
19/12/2023 14:05	Botella 4	19/12/2023 14:05	Botella 4	19/12/2023 14:06	Botella 4
19/12/2023 14:06	Botella 5	19/12/2023 14:07	Botella 5	19/12/2023 14:07	Botella 5
19/12/2023 14:08	Botella 6	19/12/2023 14:08	Botella 6	19/12/2023 14:09	Botella 6
19/12/2023 14:09	Botella 7	19/12/2023 14:10	Botella 7	19/12/2023 14:10	Botella 7
19/12/2023 14:11	Botella 8	19/12/2023 14:11	Botella 8	19/12/2023 14:12	Botella 8
19/12/2023 14:12	Botella 9	19/12/2023 14:13	Botella 9	19/12/2023 14:13	Botella 9
19/12/2023 14:14	Botella 10	19/12/2023 14:14	Botella 10	19/12/2023 14:15	Botella 10
21/12/2023 15:00	Botella 11	21/12/2023 15:00	Botella 11	21/12/2023 15:01	Botella 11
21/12/2023 15:01	Botella 12	21/12/2023 15:02	Botella 12	21/12/2023 15:02	Botella 12
21/12/2023 15:03	Botella 13	21/12/2023 15:03	Botella 13	21/12/2023 15:04	Botella 13
21/12/2023 15:04	Botella 14	21/12/2023 15:05	Botella 14	21/12/2023 15:05	Botella 14
21/12/2023 15:06	Botella 15	21/12/2023 15:06	Botella 15	21/12/2023 15:07	Botella 15
21/12/2023 15:07	Botella 16	21/12/2023 15:08	Botella 16	21/12/2023 15:08	Botella 16
21/12/2023 15:09	Botella 17	21/12/2023 15:09	Botella 17	21/12/2023 15:10	Botella 17
21/12/2023 15:10	Botella 18	21/12/2023 15:11	Botella 18	21/12/2023 15:11	Botella 18
21/12/2023 15:12	Botella 19	21/12/2023 15:12	Botella 19	21/12/2023 15:13	Botella 19
21/12/2023 15:13	Botella 20	21/12/2023 15:14	Botella 20	21/12/2023 15:14	Botella 20
22/12/2023 15:30	Botella 21	22/12/2023 15:30	Botella 21	22/12/2023 15:31	Botella 21
22/12/2023 15:31	Botella 22	22/12/2023 15:32	Botella 22	22/12/2023 15:32	Botella 22
22/12/2023 15:33	Botella 23	22/12/2023 15:33	Botella 23	22/12/2023 15:34	Botella 23
22/12/2023 15:34	Botella 24	22/12/2023 15:35	Botella 24	22/12/2023 15:35	Botella 24
22/12/2023 15:36	Botella 25	22/12/2023 15:36	Botella 25	22/12/2023 15:37	Botella 25
22/12/2023 15:37	Botella 26	22/12/2023 15:38	Botella 26	22/12/2023 15:38	Botella 26
22/12/2023 15:39	Botella 27	22/12/2023 15:39	Botella 27	22/12/2023 15:40	Botella 27
22/12/2023 15:40	Botella 28	22/12/2023 15:41	Botella 28	22/12/2023 15:41	Botella 28
22/12/2023 15:42	Botella 29	22/12/2023 15:42	Botella 29	22/12/2023 15:43	Botella 29
22/12/2023 15:43	Botella 30	22/12/2023 15:44	Botella 30	22/12/2023 15:44	Botella 30
22/12/2023 15:45	Botella 31	22/12/2023 15:45	Botella 31	22/12/2023 15:46	Botella 31
22/12/2023 15:46	Botella 47	22/12/2023 15:47	Botella 32	22/12/2023 15:47	Botella 32
22/12/2023 15:48	Botella 33	22/12/2023 15:48	Botella 33	22/12/2023 15:49	Botella 33
22/12/2023 15:49	Botella 34				

En la Tabla 44 se puede ver los resultados del número de pruebas realizadas con cada color de bebida, en dichas pruebas ocurrieron errores y no reconocimiento de los colores por medio de la cámara, para diferenciarlos el texto se encuentra de color rojo, mientras que los reconocimientos correctos el texto se encuentra de color negro, con

estos datos obtenidos se puede calcular el error para determinar la eficiencia de la visión artificial.

- **Error absoluto**

Se denomina error absoluto (ε_a) al cálculo de la diferencia positiva entre el valor real (\bar{x}) y una medición o valor estimado (x_i), su fórmula matemática es:

$$\varepsilon_a = |\bar{x} - x_i| \quad (1)$$

Donde:

ε_a = Error absoluto

\bar{x} = Valor real

x_i = Medición

- **Error relativo**

Se denomina error relativo (ε_r) al cálculo de la división del error absoluto (ε_a) y el valor real (\bar{x}) y puede expresarse en porcentaje o en valores de 0 a 1 y su fórmula matemática es:

$$\varepsilon_r = \frac{|\bar{x} - x_i|}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

ε_r = Error relativo

\bar{x} = Valor real

x_i = Medición

Basado en la Tabla 45 que contiene los datos de las pruebas realizadas y aplicando en dichos datos las fórmulas (1) y (2) se calcula el error absoluto y relativo necesario para evaluar la visión artificial implementada en el sistema.

Tabla 45. Cálculo del error para la visión artificial

Cálculo del error de las pruebas de funcionamiento			
Error calculado	Tipos de bebidas		
	Bebida amarilla	Bebida roja	Bebida azul
Error absoluto ε_a	$\varepsilon_a = \bar{x} - x_i $ $\varepsilon_a = 34 - 31 $ $\varepsilon_a = 3$	$\varepsilon_a = \bar{x} - x_i $ $\varepsilon_a = 33 - 31 $ $\varepsilon_a = 2$	$\varepsilon_a = \bar{x} - x_i $ $\varepsilon_a = 33 - 29 $ $\varepsilon_a = 4$
Error relativo ε_r	$\varepsilon_r = \frac{ \bar{x} - x_i }{\bar{x}} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{ 34 - 31 }{34}$ $\varepsilon_r = \frac{3}{34} \times 100\%$ $\varepsilon_r = 9\%$	$\varepsilon_r = \frac{ \bar{x} - x_i }{\bar{x}} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{ 33 - 31 }{33}$ $\varepsilon_r = \frac{2}{33} \times 100\%$ $\varepsilon_r = 6\%$	$\varepsilon_r = \frac{ \bar{x} - x_i }{\bar{x}} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{ 33 - 29 }{33}$ $\varepsilon_r = \frac{4}{33} \times 100\%$ $\varepsilon_r = 12\%$

Al realizar el cálculo como se observa en la Tabla 45 la base real es de 33 y 34 por el número de pruebas realizadas para cada color de bebida, estos cálculos da como resultado que en la bebida amarilla se tiene un error del 9%, esto quiere decir que la eficiencia del reconocimiento para este color es del 91%, para el color de bebida roja se tiene un error del 6%, lo cual refleja una eficiencia del 94% en el reconocimiento, y por ultimo para el color azul se tiene un error del 12% lo que quiere decir que se tiene una eficiencia del 88% en reconocimiento, todo esto se resume en un error promedio del 9% y una eficiencia del 91% en el reconocimiento de colores por medio de la visión artificial implementada, la Figura 82 presenta de una manera más gráfica los resultados resumen obtenidos.

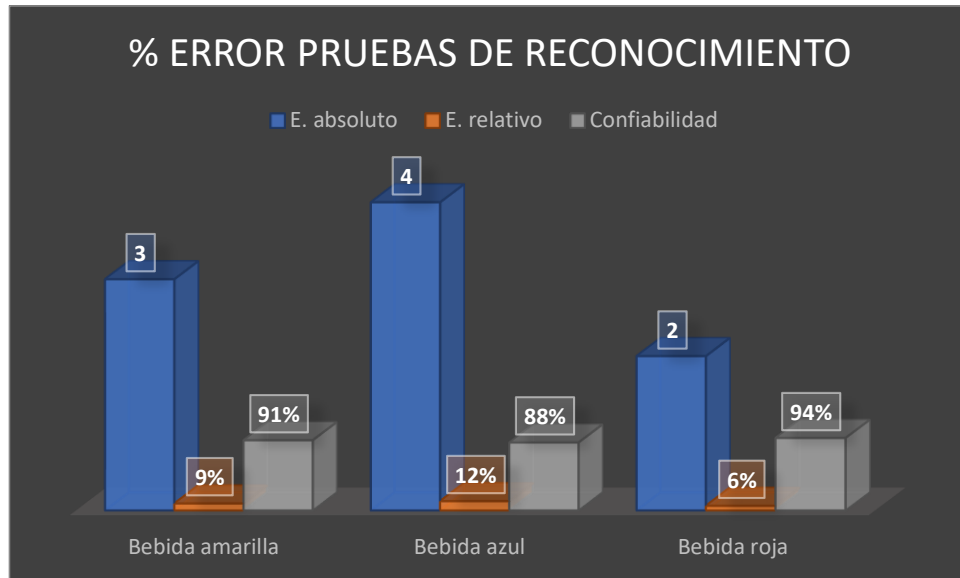


Figura 82. % de error de las pruebas de reconocimiento

Al observar los datos obtenidos podemos ver que existe una gran diferencia en el porcentaje de eficiencia del reconocimiento del color de bebida azul, esto debido al matiz del color de la bebida y la luz que refleja la misma por el ambiente en el que se encuentra instalada la estación, provocando que la cámara capte tonos más cercanos al negro o azul marino, esto está fuera del rango de detección, para evitar errores mayores.

b. Pruebas de estación automatizada

Para las pruebas de funcionamiento de la estación automatizada se tomó en cuenta el correcto funcionamiento de las diferentes etapas del mismo, para ello se tomó en cuenta varias características que califican al proceso como la velocidad, calidad de llenado, taponado, entre otros, a continuación, la Tabla 46 muestra los datos obtenidos en relación a las pruebas realizadas con cada uno de los colores de bebidas, al igual que en cada una de las etapas de funcionamiento de la estación automatizada de embotellado.

Tabla 46. Pruebas de funcionamiento de la estación automatizada

Pruebas de funcionamiento de la estación de embotellado						
Bebida	N° Prueba	Etapa del proceso				Tiempo de procesamiento
		Entrada	Llenado	Taponado	Salida	
Azul	1	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	2	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:12 s
	3	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:37:02 s
	4	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:16 s
	5	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	6	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	7	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:50 s
	8	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:14 s
	9	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:02 s
	10	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	11	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	12	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	13	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:36:50 s
	14	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:14 s
	15	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:36:36 s
	16	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	17	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:50 s
	18	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	19	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:50 s
	20	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	21	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	22	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:36:12 s
	23	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:02 s
	24	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	25	Correcto	Incorrecto	Incorrecto	Correcto	00:36:26 s
	26	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	27	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:50 s
	28	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:14 s
	29	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:36 s
	30	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	31	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	32	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:36:36 s
	33	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
Amarilla	1	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:37:15 s
	2	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:26 s
	3	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	4	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:35 s
	5	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:21 s
	6	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:37:18 s
	7	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:38:06 s
	8	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:38:01 s
	9	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:09 s
	10	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:37:06 s
	11	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	12	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:12 s
	13	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:37:02 s
	14	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:16 s
	15	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	16	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	17	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:50 s

Pruebas de funcionamiento de la estación de embotellado						
	18	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:14 s
	19	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:36 s
	20	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	21	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	22	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:12 s
	23	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:37:02 s
	24	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	25	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	26	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	27	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:50 s
	28	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:14 s
	29	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:36 s
	30	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	31	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	32	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:36 s
33	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s	
Roja	1	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:35:45 s
	2	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:36:02s
	3	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:22s
	4	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26s
	5	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:35:59s
	6	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:09s
	7	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:10s
	8	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:37:02s
	9	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:35:54s
	10	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:36:07s
	11	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	12	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:12 s
	13	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:02 s
	14	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:16 s
	15	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	16	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	17	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:50 s
	18	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:14 s
	19	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:36 s
	20	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:16 s
	21	Correcto	Incorrecto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	22	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:12 s
	23	Correcto	Correcto	Correcto	Incorrecto	00:37:02 s
	24	Correcto	Correcto	Incorrecto	Correcto	00:36:16 s
	25	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:26 s
	26	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:37:03 s
	27	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:50 s
	28	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:14 s
	29	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:36 s
	30	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	31	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	32	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:36 s
	33	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
	34	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	00:36:16 s
Tiempo promedio de procesamiento						00:36:35 s

La Tabla 46 presenta los resultados de las pruebas de funcionamiento realizadas a la estación automatizada, en las distintas etapas de la estación se presentan errores o

funcionamientos incorrectos, para ello se ha resaltado su funcionamiento incorrecto y el texto se ha presentado de color rojo para poder diferenciarlos, para poder definir la confiabilidad de las pruebas realizadas a 100 envases divididos en 33 envases de cada color de bebida a excepción de la bebida roja a la cual se le realizó 34 pruebas, se calcula el error de cada una de las etapas aplicando las fórmulas (1) y (2), el resumen de los cálculos se presentan a continuación en la Tabla 47.

Tabla 47. Cálculos de las pruebas de funcionamiento

Cálculo del error de las pruebas de funcionamiento de la estación automatizada		
Etapas del proceso de embotellado	Errores calculados	
	Error absoluto	Error relativo
Entrada	$\varepsilon_a = 0$	$\varepsilon_r = 0\%$
Llenado	$\varepsilon_a = \bar{x} - x_i $ $\varepsilon_a = 100 - 89 $ $\varepsilon_a = 11$	$\varepsilon_r = \frac{ \bar{x} - x_i }{\bar{x}} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{ 100 - 89 }{100} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{11}{100} \times 100\%$ $\varepsilon_r = 11\%$
Taponado	$\varepsilon_a = \bar{x} - x_i $ $\varepsilon_a = 100 - 88 $ $\varepsilon_a = 12$	$\varepsilon_r = \frac{ \bar{x} - x_i }{\bar{x}} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{ 100 - 88 }{100} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{12}{100} \times 100\%$ $\varepsilon_r = 12\%$
Salida	$\varepsilon_a = \bar{x} - x_i $ $\varepsilon_a = 100 - 90 $ $\varepsilon_a = 10$	$\varepsilon_r = \frac{ \bar{x} - x_i }{\bar{x}} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{ 100 - 90 }{100} \times 100\%$ $\varepsilon_r = \frac{10}{100} \times 100\%$ $\varepsilon_r = 10\%$

En la Tabla 47 se presentan los errores calculados para cada una de las etapas del proceso de embazado de la estación automatizada, para la etapa de entrada se presenta un error del 0% lo cual resalta la confiabilidad del funcionamiento de los equipos de esa etapa en un 100%, en la etapa de llenado resulta un error del 11% , lo que da como resultado una confiabilidad del 89% en esta etapa del proceso de envasado, en la etapa de taponado se presenta un error calculado del 12% lo cual da como resultado un porcentaje de confiabilidad del buen funcionamiento de los componentes de esta etapa del 88% y por último en la etapa de salida se presenta un error del 10% lo cual da una confiabilidad del 90% para esta etapa del proceso. Dando como resultado un error general del 11% y una confiabilidad del 89%, resaltando el alto porcentaje de confiabilidad.

En la Figura 83. % de error de las pruebas de la estación automatizada. se puede observar los valores para cada etapa y se puede resumir que los porcentajes de confiabilidad se deben a los componentes presentes en cada una de las etapas, así como los mecanismos de las mismas, ya que es un prototipo el mismo se encuentra realizado con componentes educativos y de prueba, mas no industriales, por lo mismo genera errores, en base a los cálculos la etapa que más porcentaje de error presento es la de taponado, esto debido a la precisión necesaria para que el proceso no tenga errores.

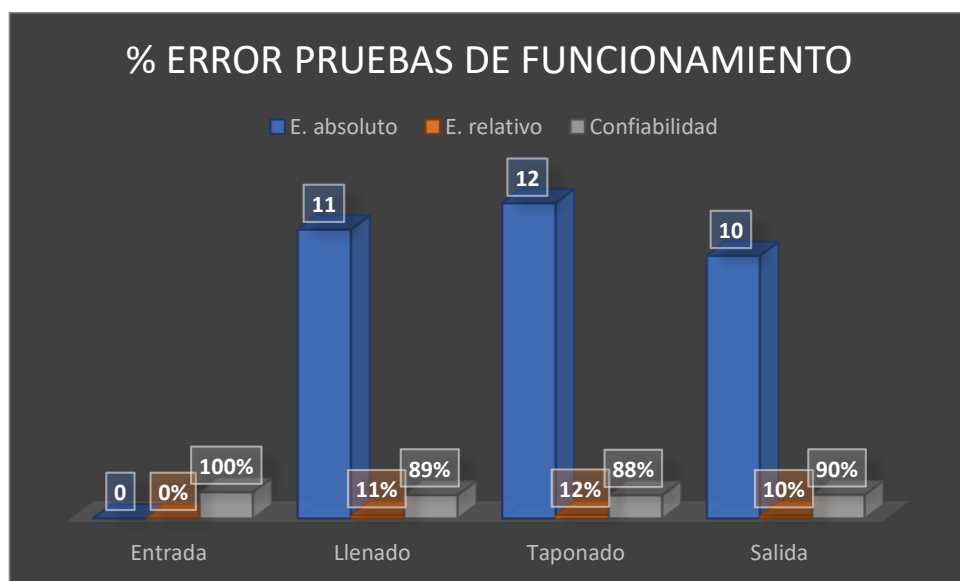


Figura 83. % de error de las pruebas de la estación automatizada.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Por medio del desarrollo de la estación de paletizado y clasificación de objetos mediante un brazo robótico EPSON controlado por la IA se automatizó todo el sistema prototipo que puede presentarse en una empresa a fin de mejorar el control de un proceso en tiempo real con reportes mensuales destinados a obtener parámetros de las entradas y las salidas exitosas.
- Mediante el análisis de los procesos industriales relacionados con estaciones de paletizado y clasificado de objetos se identificó que la IA permite controlar sistemas robóticos a fin de reducir los errores humanos y los extensos tiempos contemplados por el trabajo manual, ya que de esta forma se puede controlar de forma remota y en tiempo real el proceso en un ambiente industrial aumentando la capacidad diaria de toda la planta.
- Para controlar el brazo robótico EPSON se empleó la IA programada en Python mediante la biblioteca cv2 que permite identificar objetos por colores según la captura de video en tiempo real; se determinó los recursos que se utilizó en base a las características de los equipos teniendo el PLC S7-1200 como controlador, el comunicador ethernet switch, el sensor fotoeléctrico IBEST PES-RC50POC2MD y el PES-TI12PO3MD para la detección de objetos y el sistema neumático formado por 4 electroválvulas. El sistema se comunica bajo el protocolo OPC permitiendo extraer datos en tiempo real.
- Por medio de las pruebas de funcionamiento se ajustaron las cuatro etapas del proceso según el color de bebida, obteniendo que durante la entrada se tuvo un 100% de funcionamiento correcto; sin embargo, en el llenado se tuvo un error del 11%, en el taponado del 12% y de la salida del 10%. Este porcentaje tiene un equivalente a un error de 11 por cada 100 objetos ingresados efectuando un tiempo promedio de procesamiento de 36,35 s.

4.2 Recomendaciones

- Modificar los componentes del sistema para aumentar la precisión del sistema y reducir de forma eficaz el grado de funcionamiento de forma que las salidas del proceso sea el correcto.
- Utilizar otra IA que permita acoplar el sistema según las líneas de código empleados para mejorar el sistema de control bajo el concepto de principio de mínimo error robotizado.
- Realizar el sistema eléctrico bajo normativa legal del Ecuador que permita cumplir con los parámetros de trabajo de equipos energizados con seguridad y reducción de riesgos que puedan producir accidentes.
- Emplear otros controladores para determinar el comportamiento del sistema y el porcentaje de fiabilidad del mismo de forma que el brazo robótico permita realizar el trabajo en menor tiempo y de forma que se reduzca las salidas no programadas o correctas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Rapani y N. Soler, “El impacto de la automatización, más allá de las fronteras”, *Factor Trabajo*, vol. 1, núm. 1, pp. 2–3, 2021.
- [2] D. L. Jiménez, “Globalización y robots ¿qué consecuencias pueden suscitarse de tal sinergia?”, *Andamios*, vol. 17, núm. 44. Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 343–349, 2020. doi: 10.29092/uacm.v17i44.805.
- [3] N. Pereira, C. Leal, y M. Da Silva, “Política industrial, crecimiento económico e inserción internacional: comparación de países seleccionados”, *Revista de la CEPAL*, vol. 1, núm. 135, pp. 7–30, 2022, doi: 10.18356/16820908-2021-135-1.
- [4] Y. Becerra y M. R. Arbulu Saavedra, “Uso de robótica en una emergencia sanitaria”, *Tecnura*, vol. 26, núm. 73, pp. 130–141, jul. 2022, doi: 10.14483/22487638.17320.
- [5] A. Parra, “¿Por qué es importante el manejo de datos?”, *QuestionPro*, vol. 1, núm. 1, 2022.
- [6] Y. Ocaña, A. Valenzuela, y L. Garro, “Inteligencia artificial y sus implicaciones en la educación superior”, *Revista Scielo*, vol. 7, núm. 2, pp. 536–568, 2019, doi: 10.20511/pyr2019.v7n2.274.
- [7] Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe ., “Estudio económico de América Latina y el Caribe : dinámica y desafíos de la inversión para impulsar una recuperación sostenible e inclusiva.”, *Naciones Unidas*, vol. 1, núm. 1, 2022.
- [8] “2007-7890-dilemas-9-spe1-00116”.
- [9] N. Rafael, S. Buestán, A. Yasbeck, A. Barre, E. Alejandro, y T. Mena, “THE INTERNET OF THINGS AND ITS IMPACT ON THE DAILY LIFE OF ELDERLY ADULTS: SCHEDULE ACTIVITIES AND GEOLOCATION”. [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0003-3814-9639>
- [10] L. Tarira, “Sistema inteligente para el control y monitorización de una estación robotizada utilizando control motion y visión artificial”, vol. 33, núm. 1, pp. 1–12, 2022.
- [11] J. Escobar, “Diseño de sistemas de control industrial de robots basados en industria 4.0”, Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- [12] L. Baque Mite, M. Mariela Cadena Vásquez, D. Moserratte Salvatierra, y K. Alexander Quiñonez Ponce, “Análisis de los niveles de automatización de los procesos de producción de cacao Analysis of the levels of automation of cocoa production processes”, *Journal of Business and entrepreneurial Julio-diciembre*, vol. 4, doi: 10.37956/jbes.v4i2.70.

- [13] J. Rodríguez, “Desarrollo de Sistema SCADA para la automatización de células de fabricación”, Universidad de La Laguna, 2022.
- [14] J. García y J. Valderrama, “Desarrollo de un sistema de control automático para el trabajo eficiente en la operatividad de las electrobombas sumergibles en las empresas mineras de socavón”, Universidad César Vallejo, 2019.
- [15] J. Morales, “Automatización de la línea selladora de envases del producto porpolis en la empresa Nature’s Garden a cargo de DMIT SOLUTIONS”, Universidad Técnica de Ambato, 2021.
- [16] A. Parra y F. Miranda, “Control de un variador de frecuencia altivar 320 con PLC Modicon m241 a través de comunicación Modbus RTU para el laboratorio de automatización industrial”, Universidad Politécnica Salesiana, 2021.
- [17] B. Hidalgo, “Sistema Automatizado Con Control Scada Para La Visualización Del Proceso De Tratamiento De Agua En La Planta Eternit Ecuatoriana S . a .”, Universidad Tecnológica Israel, 2020.
- [18] J. E. Herrera Rubio, K. Y. Sánchez Mojica, y E. A. López Jaramillo, “Estudio del modelo de capas de IoT para enlaces descendentes en plataforma de interconexión de la red Sifgox”, *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, vol. 13, núm. 3, oct. 2021, doi: 10.22335/rlct.v13i3.1454.
- [19] E. Martínez, L. Méndez, y A. Quezada, “Automatización de una Línea de Producción por Medio de un Sistema SCADA”, *Academia Journals*, vol. 13, núm. 4, pp. 1005–1011, 2021.
- [20] C. Mansilla, A. Romel, Y. Luisinio, y J. Carlos, “Rediseño y automatización de los módulos de turbinas Pelton y Francis del laboratorio de termo fluidos de la universidad católica de santa maría para el monitoreo de flujo y presión empleando un sistema SCADA”, Universidad Católica De Santa María, 2023.
- [21] C. Melgar, “Implementación de seguridad en el sistema de control y automatización industrial dentro de la compañía eléctrica PLATANAL S.A.”, Universidad Privada del Norte, 2017.
- [22] D. San Valero, “Proyecto de automatización coordinada de dos prototipos de robot manipulador con dos autómatas Siemens S7 1200 mediante comunicación PROFINET, desarrollo de aplicaciones SCADA en Matlab y pantalla HMI”, Post grado, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2020.
- [23] L. Peciña, *Comunicaciones industriales y WinCC*, Primera Edición. Barcelona, 2018.
- [24] J. Alvarez y R. Castro, “Diseño e implementación de un módulo didáctico de automatización por redes de comunicación industrial PROFINET, PROFIBUS, MODBUS mediante PLC y periféricos Maestro y Esclavo”, Tesis, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, 2021.

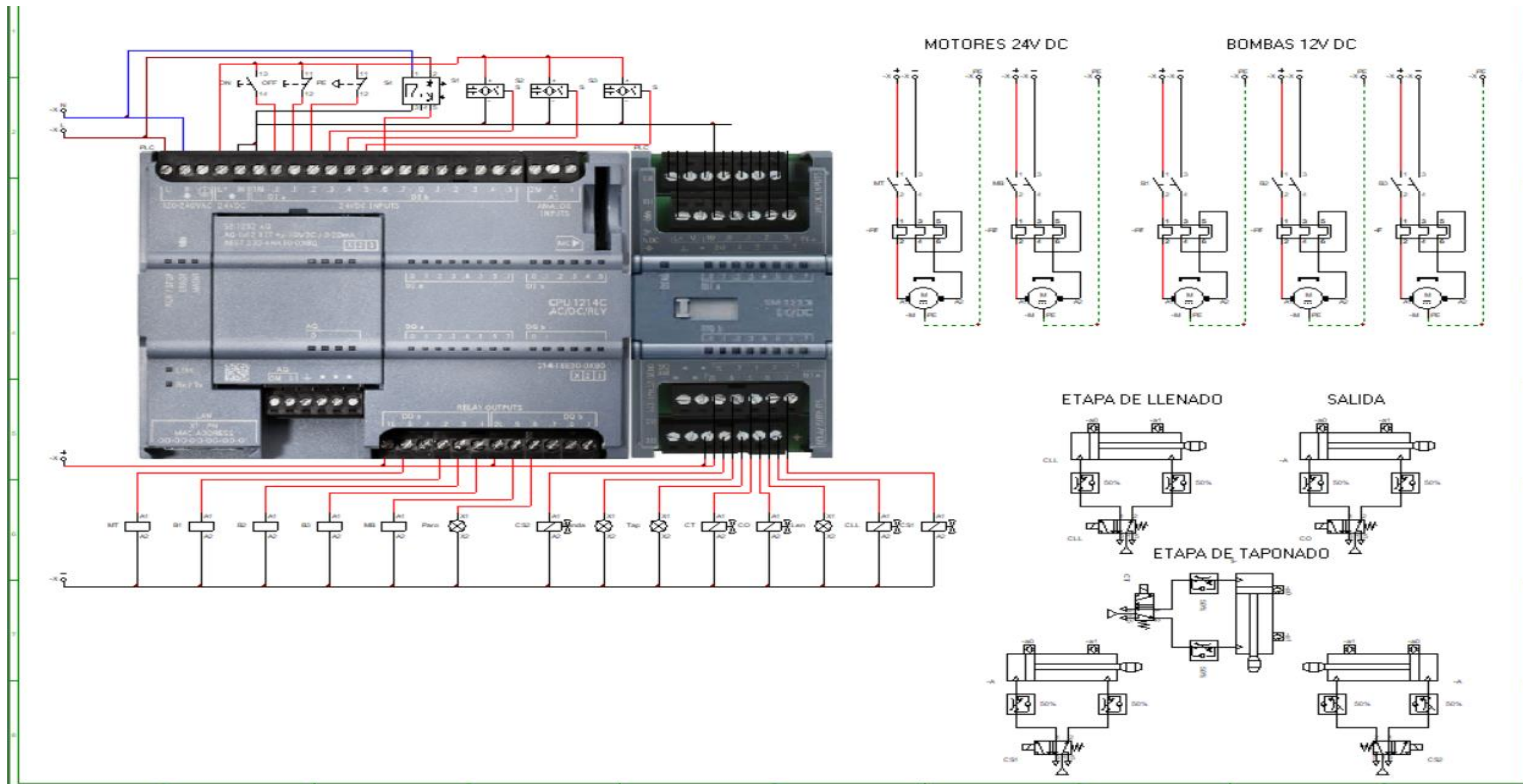
- [25] J. Rives, “Programación de una estación robótica en RobotStudio y comunicación OPC con PLC S7-1200”, Post grado, Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, 2021.
- [26] M. Rangel y D. Vega, “Diseño e implementación de prácticas de Automatización Industrial utilizando el Autómata PLC S7-1200 mediante la Planta de Procesos EPC”, Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [27] G. González Pérez, “Labor Market Automation and Dynamics in the Automotive Industry in Mexico”, *Economía teoría y práctica*, núm. 56, pp. 67–104, jun. 2021, doi: 10.24275/ETYP/AM/NE/562022/Gonzalez.
- [28] N. G. Caicedo Delgado y C. A. Andrade Alegria, “Ajuste protección de sobreexcitación ANSI 24 de un generador sincrónico para un relé Siemens 7UM62”, *Tecnura*, vol. 23, núm. 61, pp. 57–68, jul. 2019, doi: 10.14483/22487638.13785.
- [29] J. L. Ochoa-Hernández, M. Barcelo-Valenzuela, F. M. Cirett-Galán, y R. A. Luque-Morales, “A model to develop SCADA systems in productive environments”, *Computacion y Sistemas*, vol. 22, núm. 4, pp. 1543–1558, 2018, doi: 10.13053/CyS-22-4-2823.
- [30] U. Y. Sociedad y D. I. Q. Franco, “35 SYSTEMS OF QUALITY FOCUSED ON ISO 9001 AND 21001 STANDARDS: CASE FACULTY OF ADMINISTRATIVE SCIENCES OF THE UNIVERSITY OF GUAYAQUIL SISTEMAS DE CALIDAD”, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0002-5527-6245>
- [31] Y. Díaz Roller, N. Rubia Lazo, J. Carvajal de la Osa, M. Castro Fernández, y I. Perez Almirall, “TRABAJO TEÓRICO-EXPERIMENTAL Analysis of electromagnetic interference generated by medical equipment in a neonatal intensive care unit”, vol. 42, núm. 2, p. 2504, 2021, [En línea]. Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>
- [32] C. Moya, “Modernización del sistema de control y supervisión del subproceso E-COAT de la planta de pintura CIAUTO CIA LTDA”, Universidad de las Fuerzas Armadas, 2022.
- [33] A. Brunete, Pablo. San Segundo, y Rebeca. Herrero, *Introducción a la Automatización Industrial*, Primera Ed. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial - Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [34] A. M. Porcelli, “Inteligencia Artificial y la Robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos”, *Derecho Global. Estudios sobre Derecho y Justicia*, vol. 6, núm. 16, pp. 49–105, oct. 2020, doi: 10.32870/dgedj.v6i16.286.
- [35] R. Bernal, “Desarrollo de un entorno con HMI y PLC Siemens para tareas de paletizado de un robot industrial”, Universidad Politécnica de Cartagena, 2021.
- [36] U. Y. Sociedad *et al.*, “Volumen 14| Número 2 | Marzo-Abril”, 2022.

- [37] Epson, “La sencillez de la automatización Serie ProSix VT6”
- [38] A. Porcelli, “La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos”, *Revista Scielo*, vol. 6, núm. 16, pp. 49–105, 2020, doi: 10.32870/dgedj.v6i16.286.
- [39] I. Minda, A. Ricaurte, J. Conza, y P. Arroba, “Diseño e Implementación de un Brazo Robotico Industrial con 5 Grados de Libertad Guiado por Kinect”, *Polo del Conocimiento*, vol. 63, núm. 12, pp. 583–599, 2021, doi: 10.23857/pc.v6i12.3392.
- [40] J. Ruano, “Sistema de Visión artificial para autonomía de acción del Robot Industrial Mitsubishi RV-2F”, Universidad Técnica del Norte, 2020.
- [41] E. Hernández, E. Monroy, A. Torres, y J. Hernández, “Sistema automatizado para la clasificación y manipulación de objetos mediante un brazo articulado”, en *Congreso Internacional Anual De La SOMIM*, Pachuca, 2021, pp. 42–50.
- [42] S. Iglesias, “Norma editorial: ¿es adecuado no citar los artículos de más de cinco años de antigüedad?”, *FEM: Revista de la Fundación Educación Médica*, vol. 23, núm. 5, 2020.
- [43] L. Medus, M. Seban, J. Francés-Víllora, M. Bataller, y A. Rosado, “Clasificación de imágenes hiperespectrales mediante CNN: aplicación al envasado industrial de alimentos”, *Food Control*, vol. 125, núm. 107962, 2021.
- [44] T. Mane, G. Raut, A. Pethe, I. Patil, K. Mundada, y A. Iyer, “Identificación y clasificación de elementos industriales mediante inteligencia artificial y técnicas de procesamiento de imágenes.”, *ESCI: International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics*, núm. 9396858, pp. 165–169, mar. 2021.
- [45] L. Banjanovic-Mehmedovic y A. Gurdić, “Clasificación de objetos en una célula robótica inteligente mediante aprendizaje profundo”, *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 233, pp. 101–112, 2021.
- [46] A. El Wahabi, I. Baraka, S. Hamdoune, y K. El Mokhtari, “Diseño de un Mini Robot para la Automatización de Ejes de Máquinas Bobinadoras 3D y Autocorrección por Visión Artificial Mediante Aprendizaje Profundo”, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1105, pp. 210–223, 2020.
- [47] M. Herde, D. Kottke, A. Calma, M. Bieshaar, S. Deist, y B. Sick, “Clasificación activa: entrenamiento eficiente de un robot clasificador con técnicas de aprendizaje activo”, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 2018-July, 2018.
- [48] G. Lim *et al.*, “Estimación de pose precisa y eficiente de objetos apilados para manipulación móvil en desafíos de robótica industrial”, *Advanced Robotics*, vol. 33, pp. 636–646, 2019.

- [49] R. Aguilera, F. Acevedo, M. Ortiz, y J. Ortiz, “Brazo robótico con sistema de aprendizaje automático biot”, *Fractals*, vol. 28, 2020.
- [50] A. Janis, R. Cacurs, y M. Greitans, “Integración de subsistemas de visión por computadora e inteligencia artificial con planificación de movimiento basada en sistemas operativos de robots para robots industriales”, *Automatic Control and Computer Sciences*, vol. 52, núm. 5, pp. 392–401, 2018.
- [51] M. Matulis y C. Harvey, “Un gemelo digital con brazo robótico que utiliza el aprendizaje por refuerzo”, *Comput Graph*, vol. 95, pp. 106–114, 2021.

ANEXOS

Anexo 1. Plano de conexionado eléctrico de dispositivos

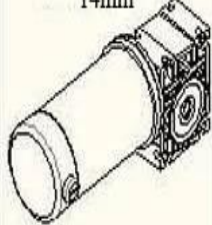


Anexo 2. Datasheet motor 12V DC



Working Voltage	Parameters	DC 3V	DC 5V	DC 6V
Motor Parameters (No Gear Box)	RPM	125R / minute		
	Current	80-100mA		
	Reduction	48:1		
Gear Box Parameters	No-load Speed	125R/minute	200R/minute	230R/minute
	Load Speed	95R/minute	1600R/minute	175R/minute
	Output Torque	0.8kg.cm	1.0kg.cm	1.1kg.cm
	No-load car Speed	25.9meter/ minute	41.4meter/mi nute	47.7meter/mi nute
	Current	110-130mA	120-140mA	130-150mA
	Max wheel diameter	6.5cm		
	Dimensions	70mmx22mmx18mm		
	Weight	50g		
	Noise	<65dB		

Anexo 3. Datsheet motor DC 24V

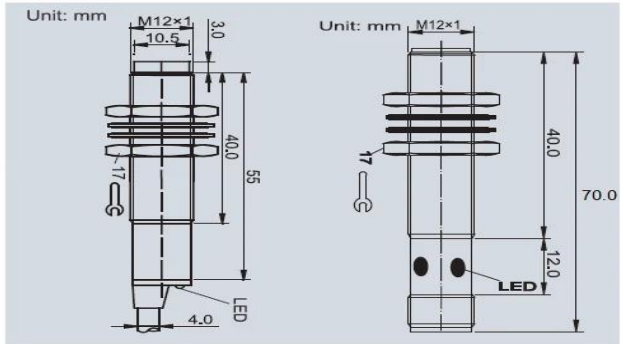
Model	voltage (V)	speed no load (r/min)	Rated speed (r/min)	Rated torque (kg.cm)	Rated current (A)	Dimention (mm)	Weight (KG)
GW80170 1:100	DC12	12	9	300	15	280x96x135孔18 255x96x115 Diameter of output hole 14mm 	4
GW80170 1:80		15	11	150			
GW80170 1:60		20	15	190			
GW80170 1:50		24	18	210			
GW80170 1:40		30	22	180			
GW80170 1:30		40	30	145			
GW80170 1:20		60	45	105			
GW80170 1:15		80	60	78			
GW80170 1:10		120	90	53			
GW80170 1:7.5		160	120	40			
GW80170 1: 5		240	180	26			
GW80170 1:100		DC24	16	13			
GW80170 1:80	20		15	150			
GW80170 1:60	27		21	190			
GW80170 1:50	33		25	220			
GW80170 1:40	41		31	190			
GW80170 1:30	55		42	150			
GW80170 1:20	82		62	110			
GW80170 1:15	110		83	83			
GW80170 1:10	165		125	56			
GW80170 1:7.5	220		167	42			
GW80170 1:5	330		250	28			

Anexo 4. Datasheet sensor M12

PES SERIES Photo Electric Sensor

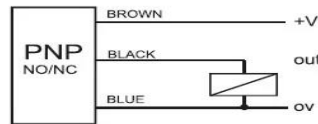
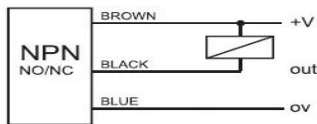
IBEST ELECTRICAL CO.,LTD

Dimension	M12×1
Connection	Wires Or M12 Connector



Mounting distance Sn		T: Through beam	R: Retro-reflective	D: Diffused
		3m	/	10cm
Output type Code		PES(I/L)-T12	/	PES(I/L)-D12
PNP	DC 3 wires NO	-PO3MD	/	-PO10D
	DC 4 wires NC	-PC3MD	/	-PC10D
NPN	DC 3 wires NO	-NO3MD	/	-NO10D
	DC 4 wires NC	-NC3MD	/	-NC10D
DC 2 wires NO		/	/	/
DC 2 wires NC		/	/	/
AC 2 wires NO		/	/	/
AC 2 wires NC		/	/	/
Relay AC/DC 24~250V		/	/	/
Rated operational voltage(DC/AC)		10...30 V DC		
Voltage drop		≤ 2 V		
Rated insulation voltage		≥20MΩ		
Load current capacity(DC/AC)		200mA		
Max.Off-state current (NPN/PNP)		≤ 20 mA		
Leak current		≤ 20 μA		
Against polarity reversal		YES		
Response time		Through beam: <5ms / Diffused: <3ms		
Working angle (T/R)		< 3~20°		
Difference distance		< 15%		
Function indication		Red LED Indicator		
Detect mode		Infrared LED		
Ambient light		Incandescence lamp: ≤3000Lx / Sun light ≤ 10000Lx		
IP rating (IEC60529)		IP67		
Housing material		Nickle plated brass		
Connection mode		Wires		
Cable length (standard)		2m		
Ambient temperature		-10...+55 °C		

1. DC5V or AC 24~250V can be special ordered.
2. Cable and housing of sensor can be special ordered.
3. For connection drawing, please refer to instruction manual.



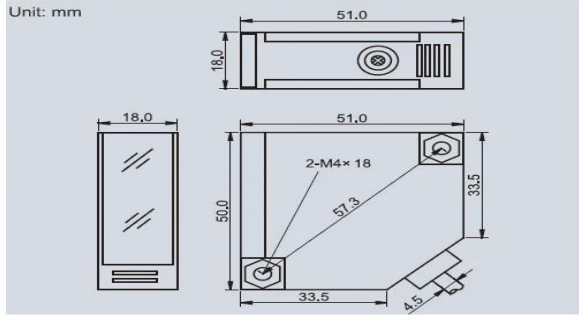
Anexo 5. Datasheet Sensor reflectivo

PES SERIES Photo Electric Sensor

IBEST
Electrical & Automation

IBEST ELECTRICAL CO.,LTD

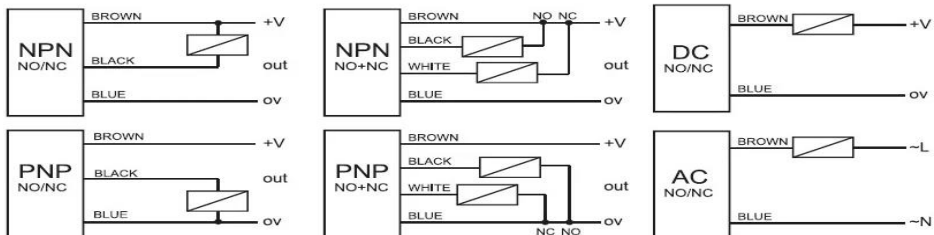
Dimension	C50
Connection	Wires



Mounting distance Sn		T: Through beam	R: Retro-reflective	D: Diffused
Code		5m	2m	30cm
PNP	DC 3 wires NO	PES-TC50	PES-RC50	PES-DC50
	NC	-PO5MD	-PO2MD	-PO30D
	DC 4 wires NO+NC	-PC5MD	-PC2MD	-PC30D
NPN	DC 3 wires NO	-POC5MD	-POC2MD	-POC30D
	NC	-NO5MD	-NO2MD	-NO30D
	DC 4 wires NO+NC	-NC5MD	-NC2MD	-NC30D
AC	DC 4 wires NO+NC	-NOC5MD	-NOC2MD	-NOC30D
	NO	-AO5MA	-AO2MA	-AO30A
	NC	-AC5MA	-AC2MA	-AC30A

Rated operational voltage(DC/AC)	10...30 V DC / AC 90~250V
Voltage drop	≤ 2 V
Rated insulation voltage	≥ 20MΩ
Load current capacity(DC/AC)	DC: 200mA / AC: 400mA
Max.Off-state current (NPN/PNP)	≤ 20 mA
Leak current	≤ 20 μA
Against polarity reversal	YES
Response time	Through beam: <5ms / Retro、diffused selective: <3ms
Working angle (T/R)	< 3~20 ° / < 1~5 °
Difference distance	< 15%
Function indication	Red LED Indicator
Detect mode	Infrared LED
Ambient light	Incandescence lamp: ≤ 3000Lx / Sun light ≤ 10000Lx
IP rating (IEC60529)	IP65
Housing material	ABS
Connection mode	Wires
Cable length (standard)	2m
Ambient temperature	-15...+55 °C

- 1.For connection drawing, please refer to instruction manual.
- 2.Cable and housing of sensor can be special ordered.
3. DC5V or AC 24~250V can be special ordered.



SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
---	---------------	------------



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

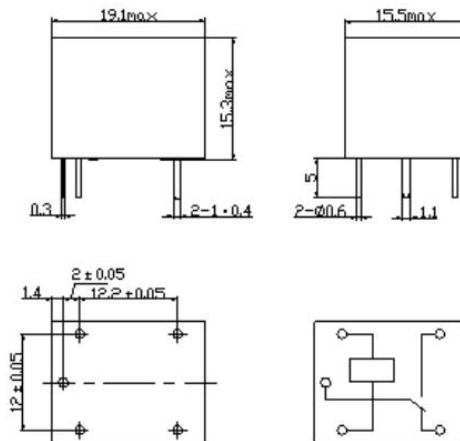
3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03、05、06、09、12、24、48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B
				C:1 form C

4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL/CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

5. DIMENSION (unit:mm) DRILLING (unit:mm) WIRING DIAGRAM



6. COIL DATA CHART (AT 20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

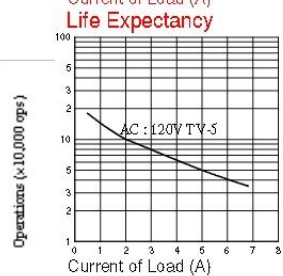
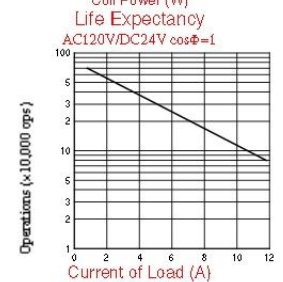
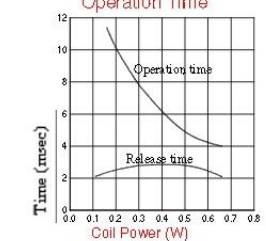
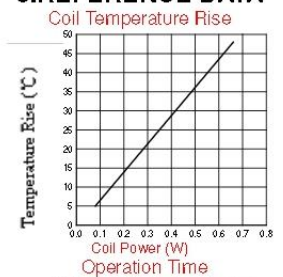
7. CONTACT RATING

Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity Resistive Load ($\cos\Phi=1$)		7A 28VDC	10A 28VDC
		10A 125VAC	10A 240VAC
Inductive Load ($\cos\Phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 120VAC	5A 120VAC
		3A 28VDC	5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

8. PERFORMANCE (at initial value)

Item	Type	SRD
Contact Resistance		100m Ω Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength	Between coil & contact	1500VAC 50/60HZ (1 minute)
	Between contacts	1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 M Ω Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching	Mechanically	300 operation/min
	Electrically	30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration	Endurance	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
	Error Operation	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock	Endurance	100G Min.
	Error Operation	10G Min.
Life Expectancy	Mechanically	10 ⁷ operations. Min. (no load)
	Electrically	10 ⁵ operations. Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

9. REFERENCE DATA



Anexo 7. Datasheet PLC 1200

SIEMENS

Product data sheet

6ES7212-1AD30-0XB0



SIMATIC S7-1200, CPU 1212C,
 COMPACT CPU, DC/DC/DC,
 ONBOARD I/O: 8 DI 24V DC;
 6 DO 24 V DC;
 2 AI 0 - 10V DC,
 POWER SUPPLY: DC 20.4 - 28.8 V DC,
 PROGRAM/DATA MEMORY: 25 KB

General information	
Engineering with	
Programming package	STEP 7 V10.5 or higher
Display	
Integrated	No
Supply voltage	
24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Load voltage L+	
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption, max.	1.2 A ; 24 V DC
Inrush current, max.	12 A ; at 28.8 V DC
Encoder supply	
24 V encoder supply	

24 V	Permissible range: 20.4 to 28.8 V
Output current	
Current output to backplane bus (DC 5 V), max.	1000 mA ; Max. 5 V DC for SM and CM
Power losses	
Power loss, typ.	9 W
Memory	
Usable memory for user data	25 kbyte
Work memory	
integrated	25 kbyte
expandable	No
Load memory	
integrated	1 Mbyte
Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	24 Mbyte ; with SIMATIC memory card
Backup	
present	Yes ; Entire project maintenance-free in the integral EEPROM
without battery	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.1 µs ; / Operation
for word operations, typ.	12 µs ; / Operation
for floating point arithmetic, typ.	18 µs ; / Operation
CPU-blocks	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
Number, max.	Limited only by RAM for code
Data areas and their retentivity	
retentive data area in total (incl. times, counters, flags), max.	2048 byte
Flag	
Number, max.	4 kbyte ; Size of bit memory address area
Address area	
I/O address area	
I/O address area, overall	1024 bytes for inputs / 1024 bytes for outputs
Inputs	1024 byte
Outputs	1024 byte
Process image	
Inputs, adjustable	1 kbyte
Outputs, adjustable	1 kbyte
Hardware configuration	

Number of modules per system, max.	3 communication modules, 1 signal board, 2 signal modules
Time of day	
Clock	
Hardware clock (real-time clock)	Yes
Deviation per day, max.	+/- 60 s/month at 25 °C
Backup time	240 h ; Typical
Digital Inputs	
Number/binary inputs	8 ; integrated
of which, inputs usable for technological functions	4 ; HSC (High Speed Counting)
integrated channels (DI)	8
m/p-reading	Yes
Input voltage	
Rated value, DC	24 V
for signal "0"	5 V DC at 1 mA.
for signal "1"	15 VDC at 2.5 mA.
Input current	
for signal "1", typ.	1 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
for standard inputs	
Parameterizable	0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, and 12.8 ms, selectable in groups of four
at "0" to "1", min.	0.2 ms
at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
Parameterizable	Yes
for counter/technological functions	
Parameterizable	Single phase: 3 at 100 kHz & 1 at 30 kHz, differential: 3 at 80 kHz & 1 at 30 kHz
Cable length	
Cable length, shielded, max.	500 m ; 50 m for technological functions
Cable length unshielded, max.	300 m ; For technological functions: No
Digital outputs	
Number/binary outputs	6
of which high-speed outputs	2 ; 100 kHz Pulse Train Output
integrated channels (DO)	6
Functionality/short-circuit strength	No ; to be provided externally
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-48 V)
Switching capacity of the outputs	
with resistive load, max.	0.5 A

on lamp load, max.	5 W
Output voltage	
for signal "0", max.	0.1 V ; with 10 kOhm load
for signal "1", min.	20 V
Output current	
for signal "1" rated value	0.5 A
for signal "0" residual current, max.	0.1 mA
Output delay with resistive load	
"0" to "1", max.	1 μ s
"1" to "0", max.	5 μ s
Switching frequency	
of the pulse outputs, with resistive load, max.	100 kHz
Relay outputs	
Max. number of relay outputs, integrated	0
Cable length	
Cable length, shielded, max.	500 m
Cable length unshielded, max.	150 m
Analog inputs	
Integrated channels (AI)	2 ; 0 to 10 V
Number of analog inputs	2
Input ranges	
Voltage	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
0 to +10 V	Yes
Input resistance (0 to 10 V)	$\geq 100k$ ohms
Cable length	
Cable length, shielded, max.	100 m ; twisted and shielded
Analog outputs	
Cable length	
Cable length, shielded, max.	100 m ; Shielded, twisted wire pair
Analog value creation	
Integrations and conversion time/ resolution per channel	
Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
Integration time, parameterizable	Yes
Conversion time (per channel)	625 μ s
Encoder	
Connectable encoders	
2-wire sensor	Yes

1st interface	
Type of Interface	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
Automatic detection of transmission speed	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
Functionality	
PROFINET IO Controller	Yes
Communication functions	
S7 communication	
supported	Yes
as server	Yes
Open IE communication	
TCP/IP	Yes
ISO-on-TCP (RFC1006)	Yes
Web server	
supported	Yes
User-defined websites	Yes
Number of connections	
overall	15 ; dynamically
Test commissioning functions	
Status/control	
Status/control variable	Yes
Variables	Inputs/outputs, memory bits, DBs, distributed I/Os, timers, counters
Forcing	
Forcing	Yes
Integrated Functions	
Number of counters	4
Counter frequency (counter) max.	100 kHz
Frequency meter	Yes
controlled positioning	Yes
PID controller	Yes
Number of alarm inputs	4
Number of pulse outputs	2
Limit frequency (pulse)	100 kHz
Galvanic Isolation	
Galvanic isolation digital inputs	

Galvanic isolation digital inputs	No
between the channels, in groups of	1
Galvanic isolation digital outputs	
Galvanic isolation digital outputs	Yes
between the channels	No
between the channels, in groups of	2
Permissible potential difference	
between different circuits	500 V DC between 24 V DC and 5 V DC
EMC	
Interference Immunity against discharge of static electricity	
Interference immunity against discharge of static electricity acc. to IEC 61000-4-2	Yes
Test voltage at air discharge	8 kV
Test voltage at contact discharge	6 kV
Interference Immunity to cable-borne Interference	
on the supply lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
Interference immunity on signal lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
Surge Immunity	
on the supply lines acc. to IEC 61000-4-5	Yes
Immunity against conducted interference induced by high-frequency fields	
Interference immunity against high-frequency radiation acc. to IEC 61000-4-6	Yes
Emission of radio Interference acc. to EN 55 011	
Emission of radio interferences acc. to EN 55 011 (limit class A)	Yes ; Group 1
Emission of radio interference acc. to EN 55 011 (limit class B)	Yes ; When appropriate measures are used to ensure compliance with the limits for Class B according to EN 55011
Degree and class of protection	
IP20	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
cULus	Yes
C-TICK	Yes
FM approval	Yes
Ambient conditions	
Operating temperature	
Min.	0 °C
max.	55 °C
horizontal installation, min.	0 °C
horizontal installation, max.	55 °C

vertical installation, min.	0 °C
vertical installation, max.	45 °C
Storage/transport temperature	
Min.	-40 °C
max.	70 °C
Air pressure	
Operation, min.	795 hPa
Operation, max.	1080 hPa
Storage/transport, min.	660 hPa
Storage/transport, max.	1080 hPa
Relative humidity	
Operation, max.	95 % ; no condensation
Vibrations	
Vibrations	2G wall mounting, 1G DIN rail
Operation, checked according to IEC 60068-2-6	Yes
Shock test	
checked according to IEC 60068-2-27	Yes ; IEC 68, Part 2-27 half-sine: strength of the shock 15 g (peak value), duration 11 ms
Climatic and mechanical conditions for storage and transport	
Climatic conditions for storage and transport	
Free fall	
Drop height, max. (in packaging)	0.3 m ; five times, in dispatch package
Temperature	
Permissible temperature range	-40 °C to +70 °C
Mechanical and climatic conditions during operation	
Climatic conditions in operation	
Temperature	
Permissible temperature range	0 °C to 55 °C horizontal installation 0 °C to 45 °C vertical installation
Permissible temperature change	5°C to 55°C, 3°C / minute
Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	
Permissible air pressure	1080 to 795 hPa
Permissible operating height	-1000 to 2000 m
Pollutant concentrations	
SO2 at RH < 60% without condensation	SO2: < 0.5 ppm; H2S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free
Configuration	
programming	
Programming language	
LAD	Yes

FBD	Yes
SCL	Yes
Cycle time monitoring	
adjustable	Yes
Dimensions	
Width	90 mm
Height	100 mm
Depth	75 mm
Weight	
Weight, approx.	370 g
Status	May 13, 2013

Anexo 8. Datasheet Pinza RG





DATASHEET

RG2

v1.4

1. Datasheet

1.1. RG2

General Properties	Minimum	Typical	Maximum	Unit
 Payload Force Fit 2 Kg	-	-	2	[kg]
	-	-	4.4	[lb]
 Payload Form Fit 5 Kg	-	-	5	[kg]
	-	-	11	[lb]
Total stroke (adjustable)	0	-	110	[mm]
	0	-	4.33	[inch]
Finger position resolution	-	0.1	-	[mm]
	-	0.004	-	[inch]
Repetition accuracy	-	0.1	0.2	[mm]
	-	0.004	0.007	[inch]
Reversing backlash	0.1	-	0.3	[mm]
	0.004	-	0.011	[inch]
Gripping force (adjustable)	3	-	40	[N]
Gripping force deviation		±25		%
Gripping speed *	38	-	127	[mm/s]
Gripping time **	0.06	-	0.21	[s]
Adjustable bracket tilting accuracy	-	< 1	-	°
Storage temperature	0	-	60	[°C]
	32	-	140	[°F]
Motor	Integrated, electric BLDC			
IP Classification	IP54			
Dimensions	213 x 149 x 36			[mm]
	8.3 x 5.9 x 1.4			[inch]
Weight	0.78			[kg]
	1.72			[lb]

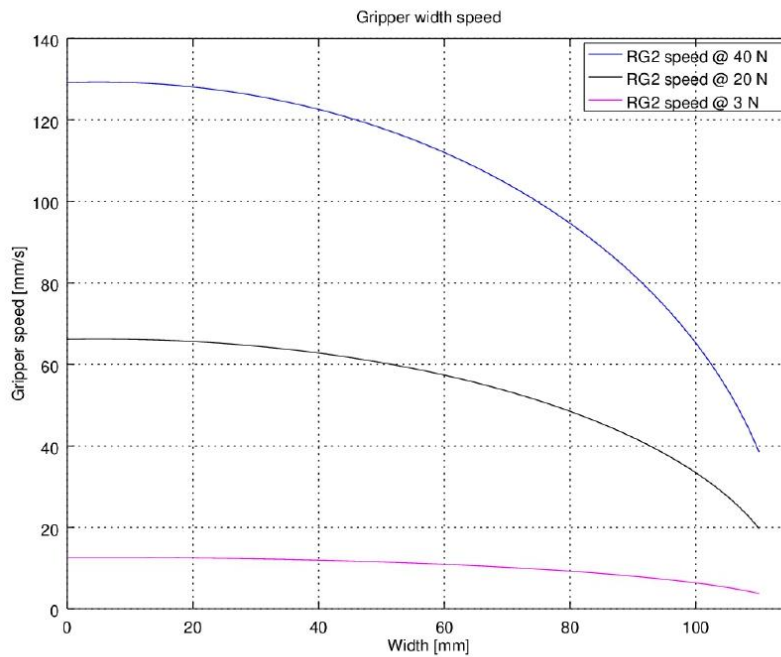
* See table on the next page

** based on 8mm total movement between fingers. The speed is linearly proportional to the force. For more details see speed table on next page.

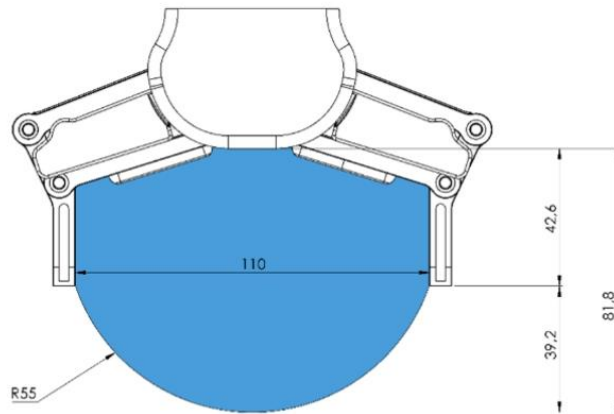
Operating Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Power supply	20	24	25	[V]
Current consumption	70	-	600*	[mA]
Operating temperature	5	-	50	[°C]
	41	-	122	[°F]
Relative humidity (non-condensing)	0	-	95	[%]
Calculated operation life	30 000	-	-	[Hours]

* Current spikes up to 3A (max 6mS) may occur during the release action.

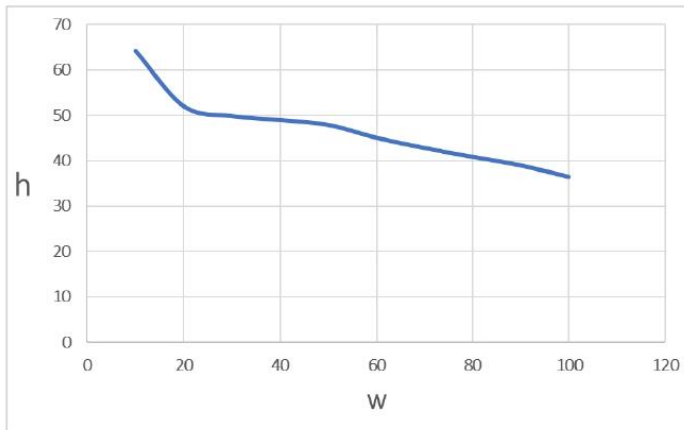
RG2 Gripping Speed Graph



RG2 Work Range

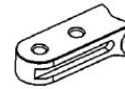
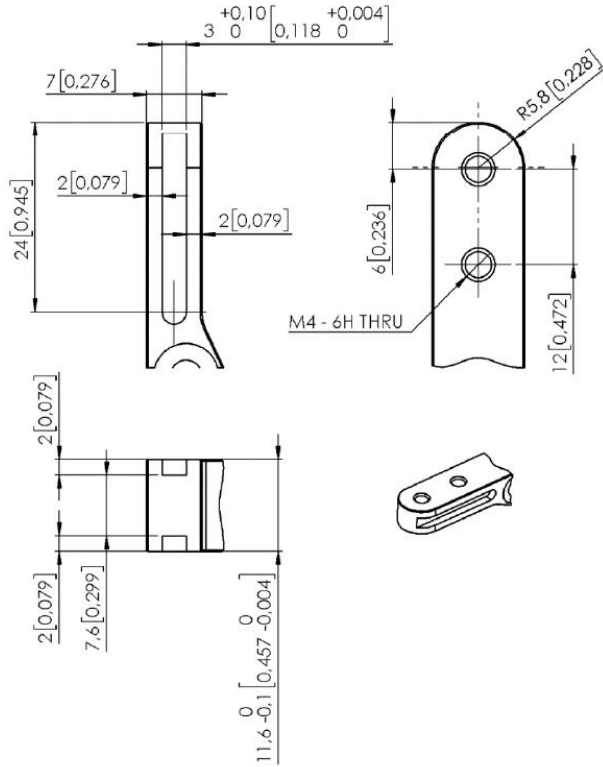


Gripping on long objects can unintentionally activate the Safety switches. The maximum workpiece height (calculated from the end of the fingertips) is dependent on the gripping width (w). For various width values the height (h) limit is given below:



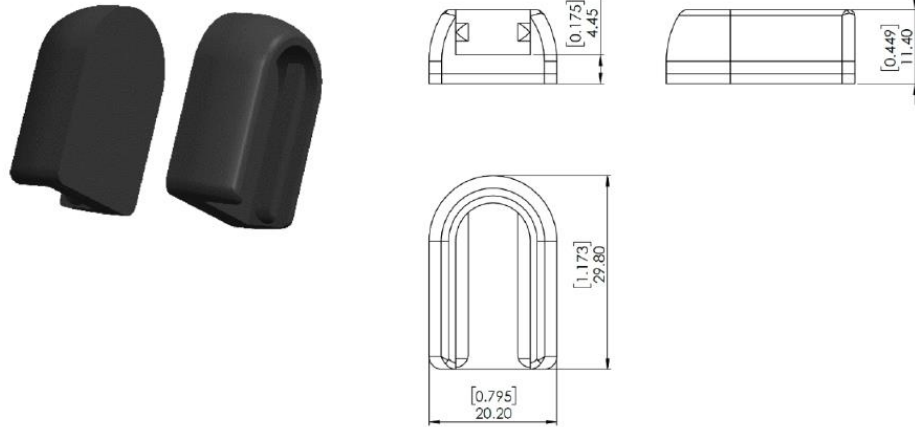
Fingertips

If custom fingertips are required, they can be made to fit the Gripper's fingers according to the dimensions (mm) shown below:



Standard fingertips

The standard fingertips can be used for many different workpieces. Standard fingertips improve the gripper's ability to pick and place different types of workpieces. The fingertip area of contact is made of rubber (EPDM) which increases the friction and reduces the probability of leaving marks on the workpiece.



To purchase a new set of standard fingertips, please contact the vendor from where the RG gripper has been purchased.

- RG2 Fingertip Set PN 100669

X-Shaped fingertips

These fingertips improve the gripper's ability to pick and place cylindrical workpieces. By combining the force fit and the form fit gripping approaches, the fingertips increase the stability and payload of the workpiece to be gripped.

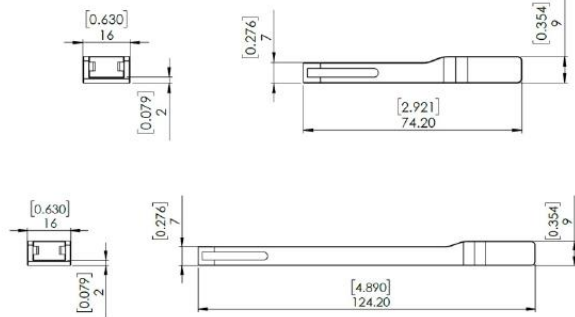


These fingertips are an accessory and need to be purchased separately. To purchase these fingertips, please contact the vendor from where the RG gripper has been purchased.

- RG2 X-Shape fingertips PN 105871

Fingertip extension 50 and 100 mm

These fingertips enable the gripper to pick and place workpieces in tight spaces where the gripper would normally be too wide, for instance boxes and crates.



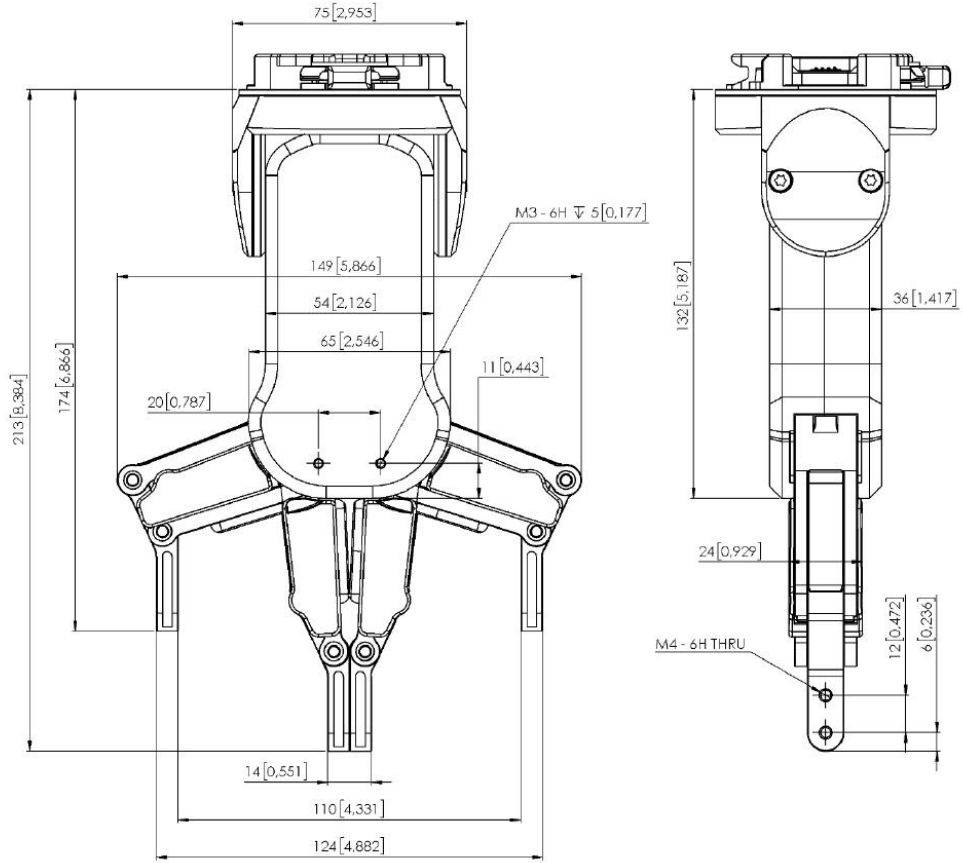
The extensions will decrease the gripping force:

- 50 mm - 66.67 % of target gripping force.
- 100 mm - 50.00 % of target gripping force.

These fingertips are an accessory and need to be purchased separately. To purchase these fingertips, please contact the vendor from where the RG gripper has been purchased.

- RG2 fingertip extension 50 mm PN 106959
- RG2 fingertip extension 100 mm PN 106960

1.2. RG2

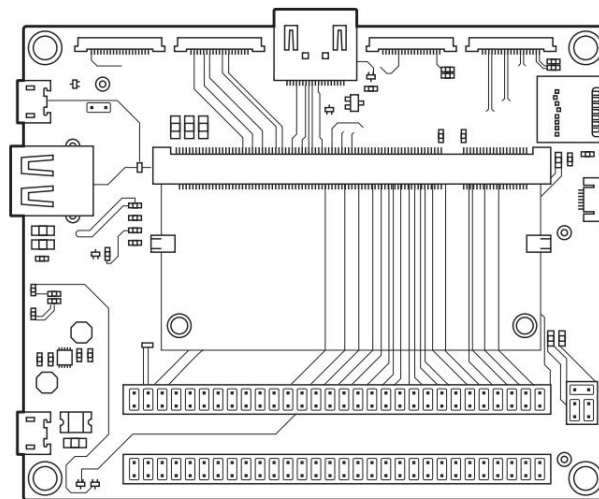


All dimensions are in mm and [inches].

Anexo 9. Datasheet Raspberry pi 3B+



RASPBERRY Pi 3B+
COMPUTE MODULE 3



www.okdo.com

RASPBERRY Pi 3 B + COMPUTE MODULE 3

OVERVIEW

The Raspberry Pi Compute Module (CM1), Compute Module 3 (CM3) and Compute Module 3 Lite (CM3L) are DDR2-SODIMM-mechanically-compatible System on Modules (SoMs) containing processor, memory, eMMC Flash (for CM1 and CM3) and supporting power circuitry. These modules allow a designer to leverage the Raspberry Pi hardware and software stack in their own custom systems and form factors. In addition these modules have extra IO interfaces over and above what is available on the Raspberry Pi model A/B boards opening up more options for the designer.

The CM1 contains a BCM2835 processor (as used on the original Raspberry Pi and Raspberry Pi B+ models), 512MByte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. The CM3 contains a BCM2837 processor (as used on the Raspberry Pi 3), 1Gbyte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. Finally the CM3L product is the same as CM3 except the eMMC Flash is not fitted, and the SD/eMMC interface pins are available for the user to connect their own SD/eMMC device.

Note that the BCM2837 processor is an evolution of the BCM2835 processor. The only real differences are that the BCM2837 can address more RAM (up to 1Gbyte) and the ARM CPU complex has been upgraded from a single core ARM11 in BCM2835 to a Quad core Cortex A53 with dedicated 512Kbyte L2 cache in BCM2837. All IO interfaces and peripherals stay the same and hence the two chips are largely software and hardware compatible.

The pinout of CM1 and CM3 are identical. Apart from the CPU upgrade and increase in RAM the other significant hardware differences to be aware of are that CM3 has grown from 30mm to 31mm in height, the VBAT supply can now draw significantly more power under heavy CPU load, and the HDMI HPD N 1V8 (GPIO46 1V8 on CM1) and EMMC EN N 1V8 (GPIO47 1V8 on CM1) are now driven from an IO expander rather than the processor. If a designer of a CM1 product has a suitably specified VBAT, can accommodate the extra 1mm module height increase and has followed the design rules with respect to GPIO46 1V8 and GPIO47 1V8 then a CM3 should work fine in a board designed for a CM1.

www.okdo.com



RASPBERRY Pi 3 B + COMPUTE MODULE 3

FEATURES

Hardware

- Low cost
- Low power
- High availability
- High reliability
 - Tested over millions of Raspberry Pis Produced to date
 - Module IO pins have 35u hard gold plating

Peripherals

- 48x GPIO
- 2x I2C
- 2x SPI
- 2x UART
- 2x SD/SDIO
- 1x HDMI 1.3a
- 1x USB2 HOST/OTG
- 1x DPI (Parallel RGB Display) • 1x NAND interface (SMI)
- 1x 4-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 4-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)

Software

- ARMv6 (CM1) or ARMv7 (CM3, CM3L) Instruction Set
- Mature and stable Linux software stack
 - Latest Linux Kernel support
 - Many drivers upstreamed
 - Stable and well supported userland
 - Full availability of GPU functions using standard APIs

www.okdo.com



RASPBERRY Pi 3 B +
COMPUTE MODULE 3

BLOCK DIAGRAM

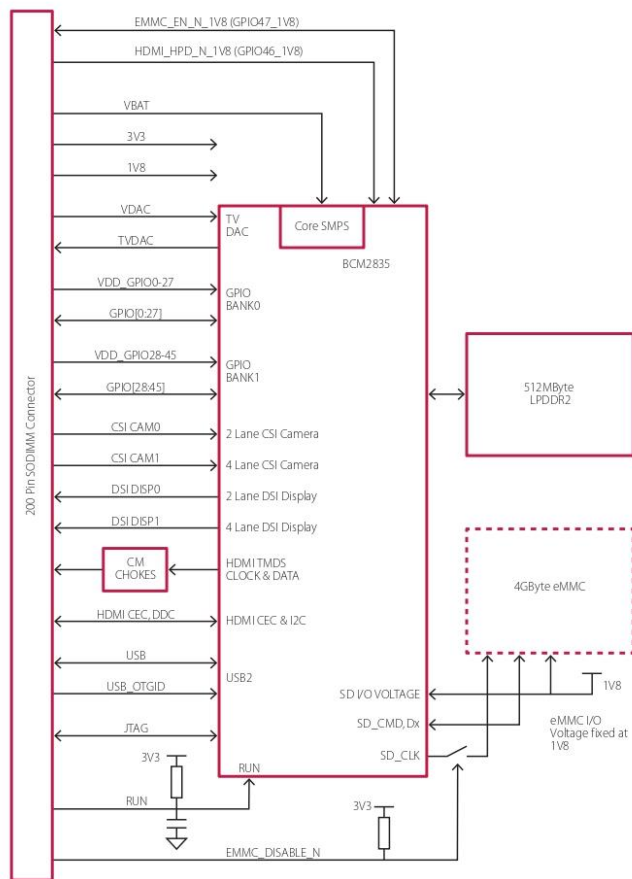


Figure 1: CM1 Block Diagram



RASPBERRY Pi 3B+
COMPUTE MODULE 3

BLOCK DIAGRAM

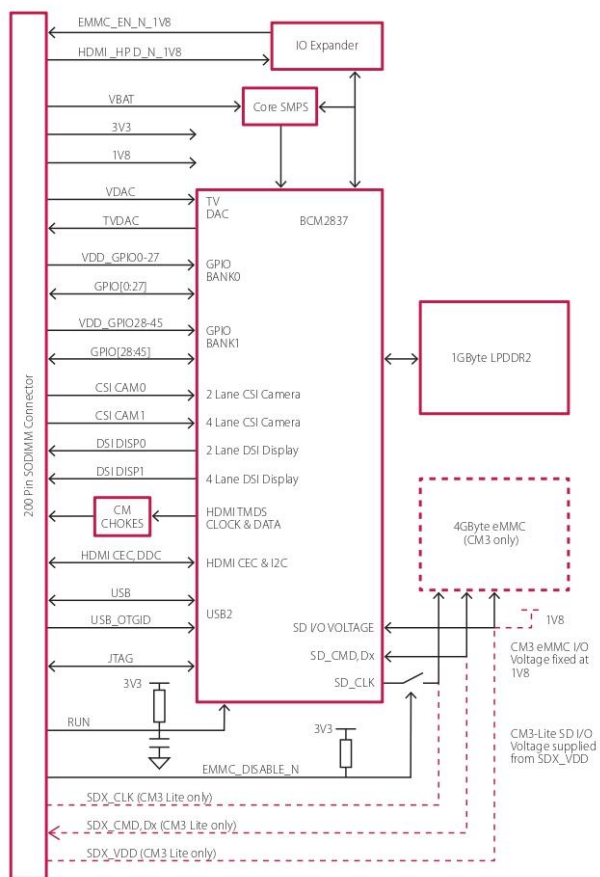


Figure 2: CM3/CM3L Block Diagram



RASPBERRY Pi 3 B + COMPUTE MODULE 3

MECHANICAL SPECIFICATION

The Compute Modules conform to JEDEC MO-224 mechanical specification for 200 pin DDR2 (1.8V) SODIMM modules (with the exception that the CM3, CM3L modules are 31mm in height rather than 30mm of CM1) and therefore should work with the many DDR2 SODIMM sockets available on the market. (Please note that the pinout of the Compute Module is not the same as a DDR2 SODIMM module; they are not electrically compatible.)

The SODIMM form factor was chosen as a way to provide the 200 pin connections using a standard, readily available and low cost connector compatible with low cost PCB manufacture.

The maximum component height on the underside of the Compute Module is 1.2mm. The maximum component height on the top side of the Compute Module is 1.5mm. The Compute Module PCB thickness is 1.0mm +/- 0.1mm.

Note that the location and arrangement of components on the Compute Module may change slightly over time due to revisions for cost and manufacturing considerations; however, maximum component heights and PCB thickness will be kept as specified.

Figure 3 gives the CM1 mechanical dimensions. Figure 4 gives the CM3 and CM3L mechanical dimensions.

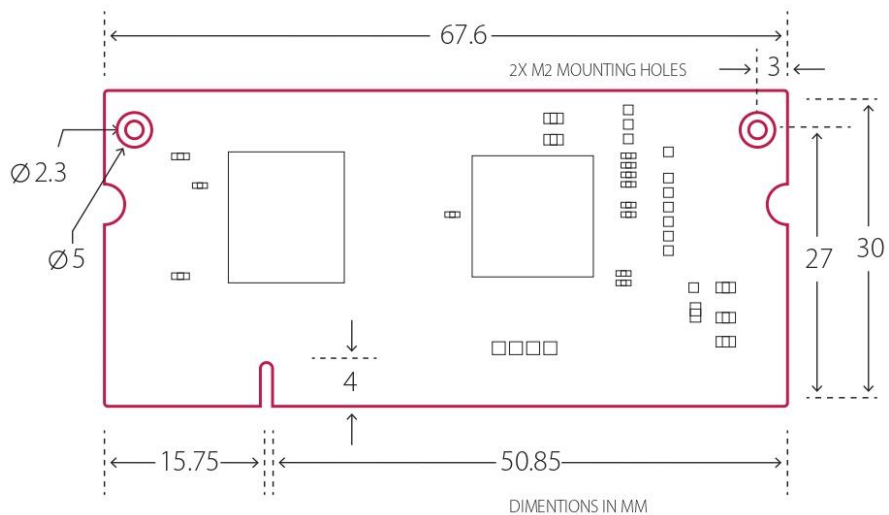


Figure 3: CM1 Mechanical Dimensions



RASPBERRY Pi 3B+
COMPUTE MODULE 3

MECHANICAL SPECIFICATION

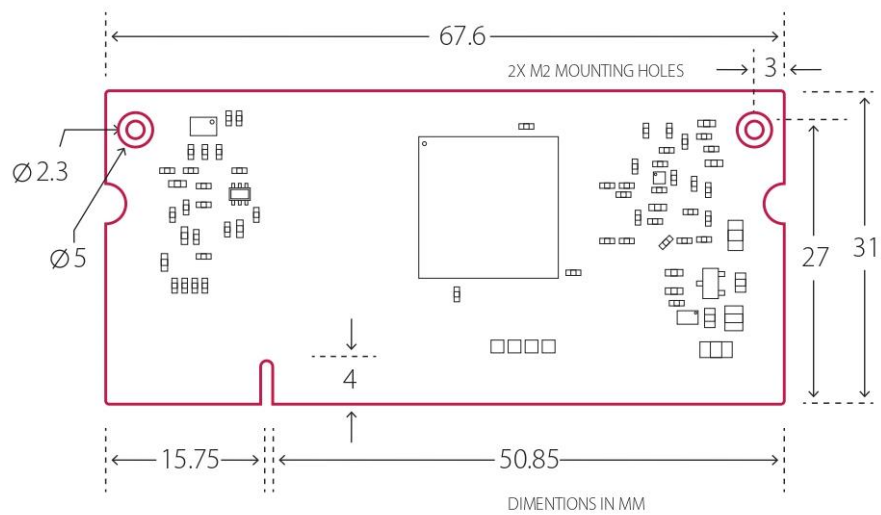


Figure 4-CM3 and CM3L Mechanical Dimensions



RASPBERRY Pi 3B+

COMPUTE MODULE 3

PIN ASSIGNMENTS

CM1	CM3-Like	CM3	PIN	PIN	CM3	CM3-Like	CM1
GND			1	2		EMMC_DISABLE_N	
GPIO0			3	4	NC	SDX_VDD	NC
GPIO1			5	6	NC	SDX_VDD	NC
GND			7	8		GND	NC
GPIO2			9	10	NC	SDX_CLK	NC
GPIO3			11	12	NC	SDX_CMD	NC
GND			13	14		GND	NC
GPIO4			15	16	NC	SDX_D0	NC
GPIO5			17	18	NC	SDX_D1	NC
GND			19	20			NC
GPIO6			21	22	NC	SDX_D2	NC
GPIO7			23	24	NC	SDX_D3	NC
GND			25	26		GND	
GPIO8			27	28		GPIO28	
GPIO9			29	30		GPIO29	
GND			31	32		GND	
GPIO10			33	34		GPIO30	
GPIO11			35	36		GPIO31	
GND			37	38		GND	
GPIO19_VDD			39	40		GPIO27_VDD	
GPIO28-43_VDD	KEY		41	42		GPIO28-43_VDD	
GND			43	44		GND	
GPIO12			45	46		GPIO32	
GPIO13			47	48		GPIO33	
GND			49	50		GND	
GPIO14			51	52		GPIO34	
GPIO15			53	54		GPIO35	
GND			55	56		GND	
GPIO16			57	58		GPIO36	
GPIO17			59	60		GPIO37	
GND			61	62		GND	
GPIO18			63	64		GPIO38	
GPIO19			65	66		GPIO39	
GND			67	68		GPIO3	
GPIO20			69	70		GPIO40	
GPIO21			71	72		GPIO41	
GND			73	74		GND	
GPIO22			75	76		GPIO42	
GPIO23			77	78		GPIO43	
GND			79	80		GND	
GPIO24			81	82		GPIO44	
GPIO25			83	84		GPIO45	
GND			85	86		GND	
GPIO26			87	88	HDMI_HPD_N_V18		GPIO46_V18
GPIO27			89	90	EMMC_EN_N_V18		GPIO47_V18
GND			91	92		GND	
DS0_DN1			93	94		DS1_DP0	
DS0_DP1			95	96		DS1_DP0	
GND			97	98		GND	
DS0_DN0			99	100		DS1_DP	
DS0_DP0			101	102		DS1_CN	
GND			103	104		GND	
DS0_CN			105	106		DS1_DP3	
DS0_CP			107	108		DS1_DN1	
GND			109	110		GND	
HDMI_CLK_N			111	112		DS1_DP2	
HDMI_CLK_P			113	114		DS1_DN2	
GND			115	116		GND	
HDMI_DP_N			117	118		DS1_DP1	
HDMI_DP_P			119	120		DS1_DN1	
GND			121	122		GND	
HDMI_D0_N			123	124		NC	
HDMI_D1_P			125	126		NC	
GND			127	128		NC	
HDMI_D0_N			129	130		NC	
HDMI_D1_P			131	132		NC	
GND			133	134		GND	
CAM1_DP3			135	136		CAMP_DP0	
CAM1_DN0			137	138		CAMP_DN0	
GND			139	140		GND	
CAM1_DP2			141	142		CAMP_CP	
CAM1_DN2			143	144		CAMP_CN	
GND			145	146		GND	
CAM1_CP			147	148		CAMP_DP1	
CAM1_CN			149	150		CAMP_DN1	
GND			151	152		GND	
CAM1_DP1			153	154		NC	
CAM1_DN1			155	156		NC	
GND			157	158		NC	
CAM1_DP0			159	160		NC	
CAM1_DN0			161	162		NC	
GND			163	164		GND	
USB_DP			165	166		1EDC	
USB_DM			167	168		USB_OTGD	
GND			169	170		GND	
HDMI_SCL			171	172		VC_IRSI_N	
HDMI_SDA			173	174		VC_IRI	
HDMI_SCL			175	176		VC_IRMS	
RUN			177	178		VC_I00	
VDD_CORE (DO NOT CONNECT)			179	180		VC_SCK	
GND			181	182		GND	
V18			183	184		V18	
V18			185	186		V18	
GND			187	188		GND	
VDAC			189	190		VDAC	
3V3			191	192		3V3	
3V3			193	194		3V3	
GND			195	196		GND	
VBAT			197	198		VBAT	
VBAT			199	200		VBAT	

Table 2: Compute Module SODIMM Connector Pinout

Table 2 gives the Compute Module pinout and Table 3 gives the Compute Module pin functions.



RASPBERRY Pi 3 B + COMPUTE MODULE 3

PIN ASSIGNMENTS

Pin Name	DIR	Voltage Ref	PDN ^a State	If Unused	Description/Notes
RUN and Boot Control (see text for usage guide)					
RUN	I	3V3 ^b	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_DISABLE_N	I	3V3 ^b	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_EN_N_1V8	O	1V8	Pull High	Leave open	Has internal 2k2 pull up
GPIO					
GPIO[27:0]	I/O	GPIO0-27_VDD	Pull or Hi-Z ^c	Leave open	GPIO Bank 0
GPIO[45:28]	I/O	GPIO28-45_VDD	Pull or Hi-Z ^c	Leave open	GPIO Bank 1
Primary SD Interface^{d,e}					
SDX_CLK	O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CLK
SDX_CMD	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CMD
SDX_Dx	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface DATA
USB Interface					
USB_Dx	I/O	-	Z	Leave open	Serial interface
USB_OTGID	I	3V3		Tie to GND	OTG pin detect
HDMI Interface					
HDMI_SCL	I/O	3V3 ^b	Z ^f	Leave open	DDC Clock (5.5V tolerant)
HDMI_SDA	I/O	3V3 ^b	Z ^f	Leave open	DDC Data (5.5V tolerant)
HDMI_CEC	I/O	3V3	Z	Leave open	CEC (has internal 27k pull up)
HDMI_CLKx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial clock
HDMI_Dx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial data
HDMI_HPD_N_1V8	I	1V8	Pull High	Leave open	HDMI hotplug detect
CAM0 (CSI0) 2-lane Interface					
CAM0_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM0_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
CAM1 (CSI1) 4-lane Interface					
CAM1_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM1_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
DSI0 (Display 0) 2-lane Interface					
DSI0_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI0_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
DSI1 (Display 1) 4-lane Interface					
DSI1_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI1_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
TV Out					
TVDAC	O	-	Z	Leave open	Composite video DAC output
JTAG Interface					
TMS	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TRST_N	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TCK	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDI	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDO	O	3V3	O	Leave open	Has internal 50k pull up

Table 3: Pin Functions

^a The PDN column indicates power-down state (when RUN pin LOW)

^b Must be driven by an open-collector driver

^c GPIO have software enabled pulls which keep state over power-down

^d Only available on Lite variants

^e The CM will always try to boot from this interface first

^f Requires external pull-up resistor to 5V as per HDMI spec



RASPBERRY Pi 3 B +
COMPUTE MODULE 3

ELECTRICAL SPECIFICATION

Caution! Stresses above those listed in Table 4 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
V _{BAT}	Core SMPS Supply	-0.5	6.0	v
3V3	3V3 Supply Voltage	-0.5	4.10	v
1V8	1V8 Supply Voltage	-0.5	2.10	v
VDAC	TV DAC Supply	-0.5	4.10	v
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	v
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	v
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	-0.5	4.10	v

Table 4: Absolute Maximum Ratings

DC Characteristics are defined in Table 5

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V _{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 1.8V	-	-	0.6	V
		VDD_IO = 2.7V	-	-	0.8	V
V _{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 1.8V	1.0	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V	1.3	-	-	V
I _{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	5	µA
C _{IN}	Input capacitance	-	-	5	-	pF
V _{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 1.8V, IOL = -2mA	-	-	0.2	V
		VDD_IO = 2.7V, IOL = -2mA	-	-	0.15	V
V _{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 1.8V, IOH = 2mA	1.6	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V, IOH = 2mA	2.5	-	-	V
I _{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 1.8V, VO = 0.4V	12	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 0.4V	17	-	-	mA
I _{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 1.8V, VO = 1.4V	10	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 2.3V	16	-	-	mA
R _{PU}	Pullup resistor	-	50	-	65	kΩ
R _{PD}	Pulldown resistor	-	50	-	65	kΩ

Table 5: DC Characteristics

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

www.okdo.com



ELECTRICAL SPECIFICATION

AC Characteristics are defined in Table 6 and Fig. 5.

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time ^a	-	1.6	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time ^a	-	1.7	-	ns
GPCLK	t_{JOSC}	Oscillator-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	48	ps
GPCLK	t_{JPLL}	PLL-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	20	ps

^a Default drive strength, CL = 5pF, VDD IOx = 3.3V

Table 6: Digital I/O Pin AC Characteristics



Figure 5: Digital IO Characteristics



POWER SUPPLIES

The Compute Module has six separate supplies that must be present and powered at all times; you cannot leave any of them unpowered, even if a specific interface or GPIO bank is unused. The six supplies are as follows:

1. VBAT is used to power the BCM283x processor core. It feeds the SMPS that generates the chip core voltage.
2. 3V3 powers various BCM283x PHYs, IO and the eMMC Flash.
3. 1V8 powers various BCM283x PHYs, IO and SDRAM.
4. VDAC powers the composite (TV-out) DAC.
5. GPIO0-27 VREF powers the GPIO 0-27 IO bank.
6. GPIO28-45 VREF powers the GPIO 28-45 IO bank.

Supply	Description	Minimum	Typical	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	2.5	-	5.0+5%	V
3V3	3V3 Supply Voltage	3.3-5%	3.3	3.3+5%	V
1V8	1V8 Supply Voltage	1.8-5%	1.8	1.8+5%	V
VDAC	TV DAC Supply ^a	2.5-5%	2.8	3.3+5%	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	1.8-5%	-	3.3+5%	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	1.8-5%	-	3.3+5%	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	1.8-5%	-	3.3+5%	V

^a Requires a clean 2.5-2.8V supply if TV DAC is used, else connect to 3V3

Table 7: Power Supply Operating Ranges

Supply Sequencing

Supplies should be staggered so that the highest voltage comes up first, then the remaining voltages in descending order. This is to avoid forward biasing internal (on-chip) diodes between supplies, and causing latch-up. Alternatively supplies can be synchronised to come up at exactly the same time as long as at no point a lower voltage supply rail voltage exceeds a higher voltage supply rail voltage.



POWER SUPPLIES

Power Requirements

Exact power requirements will be heavily dependent upon the individual use case. If an on-chip subsystem is unused, it is usually in a low power state or completely turned off. For instance, if your application does not use 3D graphics then a large part of the core digital logic will never turn on and need power. This is also the case for camera and display interfaces, HDMI, USB interfaces, video encoders and decoders, and so on.

Powerchain design is critical for stable and reliable operation of the Compute Module. We strongly recommend that designers spend time measuring and verifying power requirements for their particular use case and application, as well as paying careful attention to power supply sequencing and maximum supply voltage tolerance.

Table 8 specifies the recommended minimum power supply outputs required to power the Compute Module.

Supply	Minimum Requirement	Unit
VBAT (CM1)	2000 ^a	mW
VBAT (CM3,3L)	3500 ^a	mW
3V3	250	mA
1V8	250	mA
VDAC	25	mA
GPIO0-27_VDD	50 ^b	mA
GPIO28-45_VDD	50 ^b	mA
SDX VDD	50 ^b	mA

Table 8: Minimum Power Supply Requirements

^a Recommended minimum. Actual power drawn is very dependent on use-case

^b Each GPIO can supply up to 16mA, aggregate current per bank must not exceed 50mA



POWER SUPPLIES

Booting

The 4GB eMMC Flash device on CM3 is directly connected to the primary BCM2837 SD/eMMC interface. These connections are not accessible on the module pins. On CM3L this SD interface is available on the SDX_pins.

When initially powered on, or after the RUN pin has been held low and then released, the BCM2837 will try to access the primary SD/eMMC interface. It will then look for a file called bootcode.bin on the primary partition (which must be FAT) to start booting the system. If it cannot access the SD/eMMC device or the boot code cannot be found, it will fall back to waiting for boot code to be written to it over USB; in other words, its USB port is in slave mode waiting to accept boot code from a suitable host.

A USB boot tool is available on Github which allows a host PC running Linux to write the BCM2837 boot code over USB to the module. That boot code then runs and provides access to the SD/eMMC as a USB mass storage device, which can then be read and written using the host PC. Note that a Raspberry Pi can be used as the host machine. For those using Windows a precompiled and packaged tool is available. For more information see here.

The Compute Module has a pin called EMMC_DISABLE_N which when shorted to GND will disable the SD/eMMC interface (by physically disconnecting the SD_CMD pin), forcing BCM2837 to boot from USB. Note that when the eMMC is disabled in this way, it takes a couple of seconds from powering up for the processor to stop attempting to talk to the SD/eMMC device and fall back to booting from USB.

Note that once booted over USB, BCM2837 needs to re-enable the SD/eMMC device (by releasing EMMC_DISABLE_N) to allow access to it as mass storage. It expects to be able to do this by driving the EMMC_EN_N 1V8 pin LOW, which at boot is initially an input with a pull up to 1V8. If an end user wishes to add the ability to access the SD/eMMC over USB in their product, similar circuitry to that used on the Compute Module IO Board to enable/disable the USB boot and SD/eMMC must be used; that is, EMMC_DISABLE_N pulled low via MOSFET(s) and released again by MOSFET, with the gate controlled by EMMC_EN N 1V8. Ensure you use MOSFETs suitable for switching at 1.8V (i.e. use a device with gate threshold voltage, V_t , suitable for 1.8V switching).



PERIPHERALS

GPIO

BCM283x has in total 54 GPIO lines in 3 separate voltage banks. All GPIO pins have at least two alternative functions within the SoC. When not used for the alternate peripheral function, each GPIO pin may be set as an input (optionally as an interrupt) or an output. The alternate functions are usually peripheral I/Os, and most peripherals appear twice to allow flexibility on the choice of I/O voltage.

On CM1, CM3 and CM3L bank2 is used on the module to connect to the eMMC device and, on CM3 and CM3L, for an on-board I2C bus (to talk to the core SMPS and control the special function pins). On CM3L most of bank 2 is exposed to allow a user to connect their choice of SD card or eMMC device (if required).

Bank0 and 1 GPIOs are available for general use. GPIO0 to GPIO27 are bank 0 and GPIO28-45 make up bank1. GPIO0-27_VDD is the power supply for bank0 and GPIO28-45_VDD is the power supply for bank1. SDX_VDD is the supply for bank2 on CM3L. These supplies can be in the range 1.8V-3.3V (see Table 7) and are not optional; each bank must be powered, even when none of the GPIOs for that bank are used.

Note that the HDMI_HPD_N 1V8 and EMM_EN_N 1V8 pins (on CM1 these were called GPIO46_1V8 and GPIO47_1V8 respectively) are 1.8V IO and are used for special functions (HDMI hot plug detect and boot control respectively). Please do not use these pins for any other purpose, as the software for the Compute Module will always expect these pins to have these special functions. If they are unused please leave them unconnected.

All GPIOs except GPIO28, 29, 44 and 45 have weak in-pad pull-ups or pull-downs enabled when the device is powered on. It is recommended to add off-chip pulls to GPIO28, 29, 44 and 45 to make sure they never float during power on and initial boot.



RASPBERRY PI 3B+
COMPUTE MODULE 3

POWER SUPPLIES

GPIO Alternate Functions

GPIO	Default Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
0	High	SDA0	SA5	PCLK	-	-	-
1	High	SCL0	SA4	DE	-	-	-
2	High	SDA1	SA3	LCD_VSYNC	-	-	-
3	High	SCL1	SA2	LCD_HSYNC	-	-	-
4	High	GPCLK0	SA1	DPI_D0	-	-	ARM_TDI
5	High	GPCLK1	SA0	DPI_D1	-	-	ARM_TDO
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPI_D2	-	-	ARM_RTCK
7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	DPI_D3	-	-	-
8	High	SPI0_CE0_N	SD0	DPI_D4	-	-	-
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPI_D5	-	-	-
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPI_D6	-	-	-
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPI_D7	-	-	-
12	Low	PWM0	SD4	DPI_D8	-	-	ARM_TMS
13	Low	PWM1	SD5	DPI_D9	-	-	ARM_TCK
14	Low	TXD0	SD6	DPI_D10	-	-	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPI_D11	-	-	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPI_D12	CTS0	SPI1_CE2_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPI_D13	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
18	Low	PCM_CLK	SD10	DPI_D14	-	SPI1_CE0_N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPI_D15	-	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPI_D16	-	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPI_D17	-	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPI_D18	SD1_CLK	ARM_TRST	-
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPI_D19	SD1_CMD	ARM_RTCK	-
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPI_D20	SD1_DAT0	ARM_TDO	-
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPI_D21	SD1_DAT1	ARM_TCK	-
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPI_D22	SD1_DAT2	ARM_TDI	-
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPI_D23	SD1_DAT3	ARM_TMS	-

Table 9: GPIO Bank0 Alternate Functions

www.okdo.com



RASPBERRY Pi 3B+
COMPUTE MODULE 3

POWER SUPPLIES

GPIO Alternate Functions

GPIO	Default Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
28	None	SDA0	SA5	PCM_CLK	FL0	-	-
29	None	SCL0	SA4	PCM_FS	FL1	-	-
30	Low	TE0	SA3	PCM_DIN	CTS0	-	CTS1
31	Low	FL0	SA2	PCM_DOUT	RTS0	-	RTS1
32	Low	GPCLK0	SA1	RING_OCLK	TXD0	-	TXD1
33	Low	FL1	SA0	TE1	RXD0	-	RXD1
34	High	GPCLK0	SOE_N	TE2	SD1_CLK	-	-
35	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	-	SD1_CMD	-	-
36	High	SPI0_CE0_N	SD0	TXD0	SD1_DAT0	-	-
37	Low	SPI0_MISO	SD1	RXD0	SD1_DAT1	-	-
38	Low	SPI0_MOSI	SD2	RTS0	SD1_DAT2	-	-
39	Low	SPI0_SCLK	SD3	CTS0	SD1_DAT3	-	-
40	Low	PWM0	SD4	-	SD1_DAT4	SPI2_MISO	TXD1
41	Low	PWM1	SD5	TE0	SD1_DAT5	SPI2_MOSI	RXD1
42	Low	GPCLK1	SD6	TE1	SD1_DAT6	SPI2_SCLK	RTS1
43	Low	GPCLK2	SD7	TE2	SD1_DAT7	SPI2_CE0_N	CTS1
44	None	GPCLK1	SDA0	SDA1	TE0	SPI2_CE1_N	-
45	None	PWM1	SCL0	SLC1	TE1	SPI2_CE2_N	-

Table 10: GPIO Bank 1 Alternate Functions

Table 9 and Table 10 detail the default pin pull state and available alternate GPIO functions. Most of these alternate peripheral functions are described in detail in the Broadcom Peripherals Specification document and have Linux drivers available.



POWER SUPPLIES

Secondary Memory Interface (SMI)

The SMI peripheral is an asynchronous NAND type bus supporting Intel mode80 type transfers at 8 or 16 bit widths and available in the ALT1 positions on GPIO banks 0 and 1 (see Table 9 and Table 10). It is not publicly documented in the Broadcom Peripherals Specification but a Linux driver is available in the Raspberry Pi Github Linux repository (`bcm2835_smi.c` in `linux/drivers/misc`).

Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available on bank 0 GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display. Again this interface is not documented in the Broadcom Peripherals Specification but documentation can be found here.

SD/SDIO Interface

The BCM283x supports two SD card interfaces, SD0 and SD1.

The first (SD0) is a proprietary Broadcom controller that does not support SDIO and is the primary interface used to boot and talk to the eMMC or SDX_x signals.

The second interface (SD1) is standards compliant and can interface to SD, SDIO and eMMC devices; for example on a Raspberry Pi 3 it is used to talk to the on-board BCM43438 WiFi device in SDIO mode.

Both interfaces can support speeds up to 50MHz single ended (SD High Speed Mode).

CSI (MIPI Serial Camera)

Currently the CSI interface is not openly documented and only CSI camera sensors supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface. Supported sensors are the OmniVision OV5647 and Sony IMX219.

It is recommended to attach other cameras via USB.

DSI (MIPI Serial Display)

Currently the DSI interface is not openly documented and only DSI displays supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface.

Displays can also be added via the parallel DPI interface which is available as a GPIO alternate function - see Table 9 and Section 9.1.3



POWER SUPPLIES

USB

The BCM283x USB port is On-The-Go (OTG) capable. If using either as a fixed slave or fixed master, please tie the USB_OTGID pin to ground.

The USB port (Pins USB_DP and USB_DM) must be routed as 90 ohm differential PCB traces.

Note that the port is capable of being used as a true OTG port however there is no official documentation. Some users have had success making this work.

HDMI

BCM283x supports HDMI V1.3a.

It is recommended that users follow a similar arrangement to the Compute Module IO Board circuitry for HDMI output.

The HDMI CK_P/N (clock) and D0-D2_P/N (data) pins must each be routed as matched length 100 ohm differential PCB traces. It is also important to make sure that each differential pair is closely phase matched. Finally, keep HDMI traces well away from other noise sources and as short as possible.

Failure to observe these design rules is likely to result in EMC failure.

Composite (TV Out)

The TVDAC pin can be used to output composite video (PAL or NTSC). Please route this signal away from noise sources and use a 75 ohm PCB trace.

Note that the TV DAC is powered from the VDAC supply which must be a clean supply of 2.5-2.8V. It is recommended users generate this supply from 3V3 using a low noise LDO.

If the TVDAC output is not used VDAC can be connected to 3V3, but it must be powered even if the TV-out functionality is unused.



POWER SUPPLIES

Thermals

The BCM283x SoC employs DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling) on the core voltage. When the processor is idle (low CPU utilisation), it will reduce the core frequency and voltage to reduce current draw and heat output. When the core utilisation exceeds a certain threshold the core voltage is increased and the core frequency is boosted to the maximum working frequency. The voltage and frequency are throttled back when the CPU load reduces back to an 'idle' level OR when the silicon temperature as measured by the on-chip temperature sensor exceeds 85C (thermal throttling).

A designer must pay careful attention to the thermal design of products using the CM3/CM3L so that performance is not artificially curtailed due to the processor thermal throttling, as the Quad ARM complex in the BCM2837 can generate significant heat output.

Temperature Range

The operating temperature range of the module is set by the lowest maximum and highest minimum of any of the components used.

The eMMC and LPDDR2 have the narrowest range, these are rated for -25 to +80 degrees Celsius. Therefore the nominal range for the CM3 and CM3L is -25C to +80C.

However, this range is the maximum for the silicon die; therefore, users would have to take into account the heat generated when in use and make sure this does not cause the temperature to exceed 80 degrees Celsius.

Availability

Raspberry Pi guarantee availability of CM1, CM3 and CM3 Lite until at least January 2023.

Support

For support please see the hardware documentation section of the Raspberry Pi website and post questions to the Raspberry Pi forum.

