



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS
Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

**“Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y
monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0”**

AUTOR

RUBÉN DARÍO GONZÁLEZ AVELINO

PROFESOR TUTOR

ING. LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMÉNEZ, MSC.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a Dios por haberme brindado la capacidad y la sabiduría necesarias para llegar a este importante logro en mi vida académica. También quiero extender mi gratitud a mi familia por su apoyo inquebrantable a lo largo de este camino y por ser mi mayor fuente de inspiración para alcanzar esta meta. Agradezco profundamente a mis padres, **Ángel Rubén González Yagual** y **Graciela de Lourdes Avelino Tomalá**, por su amor, paciencia y sacrificio. Sin su confianza en mí, este logro habría sido imposible. Agradezco profundamente el sacrificio de mi padre, quien se esforzó enormemente para brindarnos a mis hermanos y a mí una educación de calidad, a pesar de los desafíos que enfrentó debido a su trabajo lejano, entiendo que cada sacrificio que hizo fue con mucho amor hacia nosotros que somos familia, y es por eso que me siento muy bendecido. Agradezco a mi madre por inculcarme valores fundamentales, como la responsabilidad y el respeto hacia todo lo que tenemos. Además, de su constante inspiración y ejemplo sobre cómo abordar los desafíos y alcanzar nuestras metas, su apoyo y orientación han sido fundamentales en mi camino hacia este logro.

Asimismo, quiero agradecer a mis compañeros de clase, quienes han dejado una huella importante en mi recorrido académico. Juntos hemos compartido momentos de alegría, superado desafíos y celebrado triunfos, creando recuerdos que guardaré con cariño para siempre. Quiero destacar especialmente la enorme ayuda de **Gabriela Moreno**, quien me ha enseñado a perseverar en momentos de inseguridad personal.

Por último, deseo expresar mi profundo agradecimiento a mi tutor de trabajo de titulación, el **Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez**, por su valiosa orientación, conocimientos y apoyo a lo largo de este proceso. Sin su guía y dedicación, este trabajo no habría sido posible. Estoy sinceramente satisfecho por su contribución a mi formación académica y profesional.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado “**Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0**”, elaborado por el egresado **Rubén Darío González Avelino**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

Libertad, 14 de marzo del 2024.

Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez MSc.

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Washington Torres Guin, Mgt.
DECANO DE LA FACULTAD

Ing. José Sánchez Aquino, Mgt.
DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez MSc
DOCENTE TUTOR

Ing. Junior Figueroa Olmedo. Mgt
DOCENTE DELÁREA

Ab. María Rivera González
SECRETARIA GENERAL

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

“Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0”

Autor: Rubén Darío González Avelino

Tutor: Luis Enrique Chuquimarca Jiménez

RESUMEN

El éxito de las empresas dedicadas a la venta de productos se debe en gran medida a la eficiencia de su intralógica, especialmente en lo que respecta al almacenamiento. Aquellas empresas que no emplean la automatización encuentran mayores dificultades para desarrollarse en el mercado, ya que dependen de métodos desordenados y propensos a generar problemas, como el uso de maquinaria inadecuada que puede ocasionar colisiones en almacenes o bodegas, como los montacargas que a menudo realizan tareas para las que no están diseñados.

El objetivo de este proyecto de titulación es automatizar un sistema de almacenamiento y recuperación de cajas utilizando un PLC (Controlador Programable Lógico), el cual, mediante programación, gestiona las entradas y salidas para llevar a cabo acciones específicas. Las interfaces gráficas permiten monitorear y controlar el sistema, optimizando así la organización de productos y el uso eficiente del espacio disponible. La automatización del sistema no solo mejora la seguridad del personal y de los productos almacenados, sino que también garantiza el uso de maquinaria adecuada y actualizada, como transelevadores y transportadores de rodillos, así como la utilización de estructuras de almacenamiento adecuadas, como estanterías.

La implementación de tecnologías asociadas a la industria 4.0 ha fortalecido el proyecto, incluyendo el uso de software de diseño en 3D y programas que permiten el monitoreo remoto desde cualquier ubicación.

ABSTRACT

The success of companies dedicated to the sale of products is largely due to the efficiency of their intralogistics, especially in terms of warehousing. Those companies that do not use automation find it more difficult to develop in the market, since they depend on disorderly methods that are prone to generate problems, such as the use of inadequate machinery that can cause collisions in warehouses or warehouses, such as forklifts that often perform tasks for which they are not designed.

The objective of this degree project is to automate a box storage and retrieval system using a PLC (Programmable Logic Controller), which, through programming, manages inputs and outputs to carry out specific actions. Graphical interfaces allow the system to be monitored and controlled, thus optimizing product organization and efficient use of available space. System automation not only improves the safety of personnel and stored products, but also ensures the use of adequate and up-to-date machinery, such as stacker cranes and roller conveyors, as well as the use of appropriate storage structures, such as shelving.

The implementation of technologies associated with Industry 4.0 has strengthened the project, including the use of 3D design software and programs that allow remote monitoring from any location.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Titulación es de nuestra responsabilidad conjunta; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Rubén Darío González Avelino

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 3 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 3 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 5 |
| 1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO | 7 |
| 1.3.1 Objetivo General | 7 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 7 |
| 1.4 RESULTADOS ESPERADOS | 8 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN | 8 |
| 1.6 ALCANCE DEL PROYECTO | 9 |
| 1.7 METODOLOGÍA | 10 |
| CAPÍTULO 2 | 13 |
| 2.1 MARCO CONTEXTUAL | 13 |
| 2.2 MARCO CONCEPTUAL | 14 |
| 2.2.1 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES | 14 |
| 2.2.2 TECNOLOGÍAS DE GESTIÓN DE ALMACENES | 15 |
| 2.2.2.1 IDENTIFICACIÓN | 16 |
| 2.2.2.2 TRASLADO Y MOVIMIENTO | 19 |
| 2.2.2.3 ALMACENAMIENTO | 21 |
| 2.2.3 SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN | 22 |
| 2.2.4 SISTEMAS DE MONITOREO DE PROCESOS INDUSTRIALES | 23 |
| 2.2.4.1 INTERFACES HMI | 23 |
| 2.2.4.2 SISTEMAS SCADA | 24 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.2.5 | PLC | 25 |
| 2.2.6 | SEGURIDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE CAJAS CON PRODUCTOS..... | 26 |
| 2.2.7 | DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA | 29 |
| 2.2.8 | FUNDAMENTACIÓN LEGAL..... | 30 |
| 2.2.8.1 | NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC - INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS..... | 30 |
| 2.2.8.2 | Norma IEC 61131 | 31 |
| 2.2.8.3 | Norma ISO 9241 | 32 |
| 2.2.9 | SENSORES Y ACTUADORES..... | 33 |
| 2.2.9.1 | Transductores | 33 |
| 2.2.9.2 | Sensores | 34 |
| 2.2.9.3 | Actuadores..... | 35 |
| 2.2.10 | PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN | 36 |
| 2.2.11 | TRANSELEVADORES | 38 |
| 2.2.12 | LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN | 38 |
| 2.3 | MARCO TEÓRICO | 40 |
| | CAPÍTULO 3 | 42 |
| 3.1 | COMPONENTES DE LA PROPUESTA | 42 |
| 3.1.1 | COMPONENTES FÍSICOS | 42 |
| 3.1.1.1 | PROTECCIONES | 42 |
| 3.1.1.2 | SENSORES – ENTRADAS. | 45 |
| 3.1.1.3 | CONTROLADOR – VARIADOR | 47 |
| 3.1.1.4 | MOTOR TRIFÁSICO..... | 52 |
| 3.1.1.5 | PANTALLA HMI DELTA..... | 53 |
| 3.1.1.6 | TRANSELEVADOR | 54 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.1.1.7 | CINTA TRANSPORTADORA..... | 55 |
| 3.1.1.8 | PULSADORES | 56 |
| 3.1.1.9 | LUCES PILOTO..... | 57 |
| 3.1.1.10 | CONTACTORES..... | 57 |
| 3.1.1.11 | Elementos de planta final | 58 |
| 3.1.2 | COMPONENTES LÓGICOS..... | 62 |
| 3.1.2.1 | TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL V.16 ... | 62 |
| 3.1.2.2 | EPLAN..... | 63 |
| 3.1.2.3 | Sketchup 2023 | 63 |
| 3.1.2.4 | Ignition Designer - Inductive Automation | 64 |
| 3.2 | DISEÑO DE LA PROPUESTA | 65 |
| 3.2.1 | DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA | 65 |
| 3.2.2 | DISEÑO DE PANEL ELÉCTRICO DEL SISTEMA..... | 68 |
| 3.2.2.1 | Cálculos de fuente de alimentación para componentes..... | 68 |
| 3.2.2.2 | Cálculo del motor para transportador de rodillos..... | 70 |
| 3.2.2.3 | Cálculo del motorreductor de traslación del transelevador..... | 72 |
| 3.2.2.4 | Cálculo del motorreductor de elevación de transelevador | 78 |
| 3.2.2.5 | Elección de protecciones eléctricas..... | 81 |
| 3.2.2.6 | Diseño eléctrico del sistema..... | 84 |
| 3.2.3 | CONFIGURACIÓN DE PLC SIEMENS S7-1200 | 96 |
| 3.2.4 | DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL..... | 100 |
| 3.2.4.1 | Primera etapa: Traslado de cajas..... | 101 |
| 3.2.4.2 | Segunda etapa: Almacenamiento de cajas. | 103 |
| 3.2.4.3 | Tercera etapa: Recuperación de las cajas..... | 119 |
| 3.2.5 | DIAGRAMA DE RED DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA . | 122 |

| | | |
|---------|------------------------------------|-----|
| 3.2.6 | DISEÑO DE INTERFAZ SCADA..... | 123 |
| 3.2.6.1 | CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR..... | 123 |
| 3.2.7 | CONFIGURACIÓN DEL DISEÑADOR | 127 |
| 3.2.8 | DISEÑO DE PANTALLAS. | 128 |
| 3.2.9 | VENTANAS EMERGENTES | 132 |
| 3.3 | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD..... | 137 |
| 3.3.1 | FACTIBILIDAD TÉCNICA. | 137 |
| 3.3.2 | ANÁLISIS DE COSTO DE PROYECTO..... | 138 |
| 3.4 | PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 140 |
| | CONCLUSIONES | 152 |
| | RECOMENDACIONES | 154 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 155 |
| | ANEXOS | 162 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sistema RFID. | 17 |
| Figura 2. Códigos de barras. | 18 |
| Figura 3. Código QR. | 18 |
| Figura 4. Dron trasladando caja. | 19 |
| Figura 5. Dron identificando cajas. | 20 |
| Figura 6. Banda transportadora de rodillos. | 21 |
| Figura 7. HMI. | 24 |
| Figura 8. SCADA. | 25 |
| Figura 9. PLC. | 26 |
| Figura 10. Principios de transducción. | 34 |
| Figura 11. Clasificación de los sensores por los principios de transducción. | 35 |
| Figura 12. Modelo OSI y Modelo TCP/IP. | 36 |
| Figura 13. Arquitectura maestro-esclavo. | 37 |
| Figura 14. Descripción lógica Ladder. | 39 |
| Figura 15. Relé Térmico. | 43 |
| Figura 16. Disyuntor. | 43 |
| Figura 17. Guardamotor. | 44 |
| Figura 18. Interruptores automáticos. | 44 |
| Figura 19. Lámina de un encoder incremental y absoluto. | 46 |
| Figura 20. Encoders. | 46 |
| Figura 21. PLC Siemens AC/DC/relay. | 48 |
| Figura 22. Módulo MODBUS RS422/485. | 48 |
| Figura 23. Módulo de salidas digitales SM1222. | 49 |
| Figura 24. Módulo de entradas digitales SM 1221. | 50 |
| Figura 25. Motor Trifásico. | 53 |
| Figura 26. Transportador de rodillos. | 56 |
| Figura 27. Pulsadores NO, NC, Emergencia. | 56 |
| Figura 28. Luz piloto color verde. | 57 |
| Figura 29. Partes de un contactor. | 57 |
| Figura 30. Contactor. | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 31. Estanterías convencionales de doble fondo..... | 59 |
| Figura 32. Estantería compacta..... | 59 |
| Figura 33. Estanterías dinámicas..... | 60 |
| Figura 34. Euro paleta..... | 61 |
| Figura 35. Paleta Perimetral..... | 62 |
| Figura 36. Software TIA PORTAL V16 para programación de PLC..... | 63 |
| Figura 37. Software ePLAN..... | 63 |
| Figura 38. Software SketchUp 2023 para diseño 3D..... | 64 |
| Figura 39. Ignition..... | 64 |
| Figura 40. Diseño de transportadores de rodillos elaborado por autor..... | 65 |
| Figura 41. Diseño de transelevador elaborado por autor..... | 66 |
| Figura 42. Diseño de estantería elaborado por autor..... | 66 |
| Figura 43. Vista Isotrópica de la Planta..... | 67 |
| Figura 44. Vista interna de la planta..... | 67 |
| Figura 45. Transportadores de acúmulo mecánico..... | 70 |
| Figura 46. Datos técnicos del transportador de rodillos..... | 70 |
| Figura 47. Datos técnicos del transelevador..... | 72 |
| Figura 48. Alimentación de PLC y módulos..... | 88 |
| Figura 49. Conexión de los variadores y motores..... | 89 |
| Figura 50. Conexión de entradas y salidas del PLC S7-1200..... | 90 |
| Figura 51. Conexión de entradas y salidas de los módulos..... | 91 |
| Figura 52. Circuito de control de variadores..... | 92 |
| Figura 53. Posicionamiento de los equipos en la placa de montaje..... | 93 |
| Figura 54. Puerta del Armario..... | 94 |
| Figura 55. Vista 2D y 3D del panel general..... | 95 |
| Figura 56. Vista 2D y 3D de la placa de montaje..... | 95 |
| Figura 57. Interfaz PG/PC..... | 96 |
| Figura 58. Error de conexión..... | 96 |
| Figura 59. Selección de dispositivo controlador..... | 97 |
| Figura 60. Asignación de la dirección IP al PLC S7 1200..... | 97 |
| Figura 61. Árbol del proyecto..... | 98 |

| | |
|--|-----|
| Figura 62. Vista de los dispositivos agregado al Proyecto. | 98 |
| Figura 63. Catálogo Hardware de TIA PORTAL V16. | 99 |
| Figura 64. Tags de entrada y salida | 99 |
| Figura 65. Tags globales (Marcas)..... | 100 |
| Figura 66. Tags adicionales para monitoreo y control del proyecto. | 100 |
| Figura 67. Bloque de datos de la función Bandas..... | 101 |
| Figura 68. Lógica de programación de los transportadores..... | 102 |
| Figura 69. Tipo de dato “lugares” para espacios de estanterías..... | 103 |
| Figura 70. Base de datos “Casillas”..... | 104 |
| Figura 71. Función para obtener número binario de un entero..... | 105 |
| Figura 72. Bloque de función para obtener el número binario de un entero..... | 105 |
| Figura 73. Base de datos “Ubicaciones”..... | 106 |
| Figura 74. Bloque de función “Almacén”..... | 106 |
| Figura 75. Censado de los productos. | 107 |
| Figura 76. Programación de conteo de cajas..... | 108 |
| Figura 77. Reseteo de variables. | 109 |
| Figura 78. Bloque de función de la programación de los actuadores. | 110 |
| Figura 79. Programación de posición de reposo y detección de caja. | 111 |
| Figura 80. Inicio de etapa de almacenamiento..... | 111 |
| Figura 81. Primer estado del funcionamiento de los actuadores..... | 113 |
| Figura 82. Estado de levantamiento..... | 114 |
| Figura 83. Estado desactivación de horquilla izquierda | 115 |
| Figura 84. Estado de inmovilización de transelevador. | 116 |
| Figura 85. Estado de activación de horquilla derecha. | 117 |
| Figura 86. Desactivación de estado actual X[4]. | 117 |
| Figura 87. Estado de desactivación de levantamiento. | 118 |
| Figura 88. Estado de desactivación de horquilla derecha. | 119 |
| Figura 89. Bloque de función de recuperación. | 120 |
| Figura 90. Programación etapa de recuperación..... | 120 |
| Figura 91. Inicio de la recuperación de cajas..... | 121 |
| Figura 92. Diagrama de red de comunicación de datos del sistema local. | 122 |

| | |
|--|-----|
| Figura 93. Arquitectura hub and spoke utilizando Ignition. | 123 |
| Figura 94. Creación de nuevo dispositivo..... | 123 |
| Figura 95. Configuración de controlador. | 124 |
| Figura 96. Configuración de servidor OPC. | 125 |
| Figura 97. Ventana Agregar diseño | 126 |
| Figura 98. Ventana de inicio de sesión. | 126 |
| Figura 99. Ventana de proyectos..... | 127 |
| Figura 100. Creación de tags..... | 128 |
| Figura 101. Ventana de Bienvenida al sistema SCADA. | 129 |
| Figura 102. Pantalla principal. | 130 |
| Figura 103. Creación de usuarios y asignación de roles. | 131 |
| Figura 104. Posiciones de las estanterías. | 131 |
| Figura 105. Pantalla de recuperación. | 132 |
| Figura 106. Ventana emergente. | 133 |
| Figura 107. Ventana emergente por desconexión de PLC..... | 134 |
| Figura 108. Ventana de confirmación..... | 134 |
| Figura 109. Pestaña de control del sistema. | 135 |
| Figura 110. Pestaña de monitoreo del sistema..... | 136 |
| Figura 111. Pestaña recuperación. | 136 |
| Figura 112. Pantalla general de la APP..... | 137 |
| Figura 113. Validación del PLC: ping 192.168.0.8. | 141 |
| Figura 114. Validación del PC-SCADA: ping 192.168.0.103..... | 141 |
| Figura 115. Activación de los transportadores de rodillos. | 142 |
| Figura 116. Desactivación temporal de transportador. | 143 |
| Figura 117. Desactivación completa de los transportadores..... | 143 |
| Figura 118. Base de datos Casillas. | 144 |
| Figura 119. Pantalla de ubicaciones..... | 145 |
| Figura 120. Transelevador en posición inicial. | 145 |
| Figura 121. Transelevador a posición enviada por programación. | 146 |
| Figura 122. Pantalla recuperación..... | 147 |
| Figura 123. Recuperación de cajas. | 148 |

| | |
|--|-----|
| Figura 124. Observación de la recuperación de cajas | 148 |
| Figura 125. Aplicación para monitoreo remoto. | 149 |
| Figura 126. Funcionamiento de transportadores y detección de caja. | 150 |
| Figura 127. Pestaña monitoreo..... | 151 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Matriz de Riesgos laborales, INSHT. | 26 |
| Tabla 2. Comparación Lenguajes del estándar IEC 61131-3 Vs Características..... | 39 |
| Tabla 3. Tipos de sensores retro reflectivos..... | 45 |
| Tabla 4. Tabla comparativa de PLC's Siemens. | 47 |
| Tabla 5. Características técnicas del módulo. | 49 |
| Tabla 6. Datos técnicos del módulo de salidas digitales..... | 50 |
| Tabla 7. Datos técnicos del módulo SM 1221 | 51 |
| Tabla 8. Tabla comparativa variadores de frecuencia..... | 52 |
| Tabla 9. Tabla comparativa de pantallas HMI. Tomado del Datasheet. | 53 |
| Tabla 10. Tabla comparativa de transelevadores Mecalux. | 55 |
| Tabla 11. Consumo de componentes..... | 69 |
| Tabla 12. Cuadro de resistencia a la rodadura. | 73 |
| Tabla 13. Tiempos de transición de los pares. | 75 |
| Tabla 14. Especificaciones de los variadores de frecuencia. | 81 |
| Tabla 15. Costo de equipos. | 139 |
| Tabla 16. Costos de estructura. | 140 |
| Tabla 17. Costo final..... | 140 |
| Tabla 18. Direcciones IP de los dispositivos. | 140 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Diagrama de flujo de un sistema AS/RS..... | 162 |
| Anexo 2. Datasheet de la fuente SITOP PSU100S..... | 163 |
| Anexo 3. Catálogo de motores..... | 163 |
| Anexo 4. Aplicación de la fórmula en Matlab..... | 163 |
| Anexo 5 Consulta de posición a almacenar..... | 164 |
| Anexo 6. Programación por bloques del conteo de cajas por tipo..... | 165 |
| Anexo 7. Programación SCL de envío de caja a posición deseada..... | 166 |
| Anexo 8. Programación de disponibilidad de cajas..... | 166 |
| Anexo 9. Consulta de posición a almacenar..... | 167 |
| Anexo 10. Envío de posición a recuperar..... | 168 |
| Anexo 11. Verificación de almacenamiento de las cajas..... | 168 |
| Anexo 12. Simulación del sistema..... | 168 |
| Anexo 13. Recuperación de cajas..... | 169 |
| Anexo 14. Programación de funcionamiento de transportadores de rodillos P2..... | 169 |
| Anexo 15. Programación de funcionamiento de transportadores de rodillos P1..... | 170 |
| Anexo 16. Programación de la detección de cajas P1..... | 171 |
| Anexo 17. Programación de la detección de cajas P2..... | 172 |
| Anexo 18. Programación de recuperación de caja P1..... | 172 |
| Anexo 19. Programación de recuperación de caja P2..... | 173 |
| Anexo 20. Distribución de espacios..... | 173 |

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el éxito de las grandes empresas radica en una gestión eficiente de sus productos, tanto dentro como fuera de la organización, hasta que llegan a manos de los clientes finales o intermediarios. Para lograr esto, es fundamental contar con sistemas de control y almacenamiento adecuados que aprovechen los avances tecnológicos de la llamada era 4.0. Esta era se caracteriza por la aplicación de tecnologías como la automatización, la robótica, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y otros avances tecnológicos, las cuales han transformado radicalmente la forma en que se gestionan los procesos industriales [1].

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño de un sistema automatizado para el almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas, aprovechando los avances de la industria 4.0. Se tiene como propósito ayudar a las empresas a reducir los tiempos de trabajo y aumentar su competitividad y seguridad en los procesos logísticos. Además, esta automatización se traducirá en una mejora de la calidad de los productos y un aumento en los ingresos.

El proceso se inicia desde la selección cuidadosa de la maquinaria, considerando los parámetros de peso de carga y velocidad. A partir de estos criterios, se determinan las especificaciones necesarias para los motores, lo que permite realizar los cálculos pertinentes para elegir los dispositivos de protección adecuados como disyuntores, guardamotors, interruptores de protección y contactores para aislar los motores del sistema controlados por variadores. Después se procede a seleccionar los dispositivos de control.

Posteriormente, se diseña el armario que alberga los componentes de control y protección, utilizando el software de diseño ePLAN respetando estándares como las normas IEC. El sistema utiliza herramientas como Controladores Lógicos Programables (PLC), y tecnologías como la Interacción Hombre-Maquina (HMI) y Sistemas de control y Adquisición de Datos (SCADA).

En la programación se utiliza el software TIA PORTAL V16, y se utiliza software de simulación, que facilita una revisión inmediata del rendimiento y ayuda a evitar

posibles errores. Para el monitoreo del sistema, se emplea los programas Ignition para desarrollar el sistema SCADA. Además, para obtener una representación visual clara de cómo distribuir eficientemente la maquinaria dentro de una estructura, se utiliza el software SketchUp. Todo esto se comunica mediante una red de comunicación donde se intercambia datos mediante servidores.

El proyecto se estructura en tres capítulos fundamentales. En el primero, se abordan los antecedentes relacionados con sistemas automatizados de almacenamiento, los cuales han sido investigados a partir de archivos meticulosamente revisados. Este capítulo comprende la descripción de dichos antecedentes, así como sus objetivos, resultados esperados, justificación, alcance y la metodología empleada en su estudio. El segundo capítulo se centra en el marco contextual, conceptual y teórico del proyecto. Aquí se detallan las normativas aplicables, las tecnologías relevantes y los componentes necesarios para el desarrollo de la propuesta, proporcionando así un fundamento sólido para su ejecución. Por último, el tercer capítulo se dedica a los componentes de la propuesta, tanto físicos como lógicos. Se describen los diseños, se presentan las pruebas realizadas, se analizan los resultados obtenidos y se derivan conclusiones y recomendaciones relevantes para el proyecto.

CAPÍTULO 1

1.1 ANTECEDENTES

Ana Bravo señala que la industria 4.0 apunta a convertir los procesos mediante los sistemas digitales, también nombra que las exigencias de los clientes varían notablemente, debido a que buscan productos nuevos y servicios innovadores. Además, menciona que países como Estados Unidos, Dinamarca y Reino Unido adoptaron nuevos sistemas para sostenerse en el mercado y estar siempre entre los países más competitivos. Por otro lado, indica que la aparición de esta cuarta revolución es debido al surgimiento del internet y donde las tecnologías más sobresalientes referentes a la gestión de inventarios y logística son los drones, RFID y “Warehouse Management System” WMS [2].

En el artículo de Carmen Rojas y Verónica Pacheco indican que en la actualidad pocas empresas han podido establecerse como las mejores al nivel global en e-commerce, ofreciendo sus servicios y productos de forma eficaz, dentro de las cuales están empresas como Amazon, Ebay, Alibaba, Mercado Libre y JD.com. Además, indican que lo que hizo que Amazon tuviera un mayor éxito fue la organización de sus productos mediante tecnología de software como Quiet Logistics, que sirve para el etiquetado y geolocalización de sus productos [3].

Según la investigación de Moises Leodan los costos del transporte interno de los productos dentro de un almacén, que incluye la preparación representan el 50% de los costos operarios, para eso se menciona que la redistribución de los almacenes, que conlleva el aprovechamiento del espacio, el manejo de productos, y la entrada pronta al procesamiento de almacenaje, reduce en un 13% el área necesaria de un almacén y un 12% el tiempo promedio utilizado por los trabajadores [4].

En el trabajo de Sebastián Almeida y Bryan Gálvez utilizaron un sistema de almacenamiento y recuperación llamado AS/RS, con la ayuda de TIA PORTAL realizaron la programación incluyendo un algoritmo que lee los códigos QR de cada producto, esta información la utilizan para designar la ubicación de la mercancía

dentro de la estantería, adicional mencionan que con el uso de los sistemas WMS o SGA “Sistemas de Gestión de Almacenes” se obtuvo beneficios como: confiabilidad, agilidad, reducción de tiempos, entre otros [5].

Según la investigación de Diego Condor todo proceso industrial debe llevar un control y supervisión de manera visual que sea sencillo de comprender y usar, su tema trata sobre el uso de un HMI para lograr el control de un sistema automatizado, de ese modo conseguir una interacción entre los usuarios y los equipos de automatización, adicional menciona que esta interfaz cuenta con tecnología táctil y permite interactuar con cualquier variable del proceso que se pueda obtener de un controlador. También mediante el HMI realizo una conexión a un dispositivo móvil Android para llevar un control de manera remota. [6].

En el trabajo de César Belupú explica la importancia del uso de un sistema alternativo de visualización de procesos, a parte del HMI y menciona al sistema SCADA como la mejor alternativa, en su trabajo utilizó el sistema para diferentes procesos de automatización, para el control y supervisión de temperatura, nivel y flujo [7].

El artículo de Swapnil Arun y Rishabh Yadav mencionan que debido a la complicación de conexión de los equipos industriales con cada uno de los componentes de control hacían que ante cualquier fallo se haga difícil encontrar una solución, a la vez que el cableado era mucho más extenso de realizar y que el control se realizaba de manera manual, es por eso que la mayoría de empresas se centraron en los diversos sistemas de control de procesos con la ayuda de los controladores lógicos programables “PLC”. Adicional indica que el desarrollo de pequeñas estructuras modulares en comparación con las estructuras anteriores ha aumentado la flexibilidad de las configuraciones del PLC, la computación del PLC, el tiempo de exploración, el procesamiento de datos, la comunicación de red, la visualización de gráficos y otras funciones [8].

Se tiene como conclusión que, por la dificultad de llevar un control manual y sistemas anticuados, la mayoría de las empresas en la actualidad optaron por realizar

la automatización mediante tecnologías que brinden fiabilidad y calidad, por tal motivo empezaron a usar PLC's en sus sistemas, debido a que estos, además de brindar la opción de automatizar procesos, también dan opciones como el procesamiento de datos y la visualización de gráficos que para este proyecto son muy importantes. Los documentos revisados y analizados dan como solución viable, el uso de los sistemas de gestión de almacenamiento automático, porque reducen los tiempos de preparación y registro de productos, además reducen el uso innecesario de espacios de un almacén y permiten llevar un mejor control de mercancías dentro de la industria.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente proyecto se realizará la respectiva automatización y monitoreo del proceso de almacenamiento y recuperación de cajas en una estantería vertical, mediante el uso de sensores y actuadores que son administrados mediante un controlador programable para obtener los datos haciendo énfasis en el guardado de los productos de manera supervisada y organizada para lograr una buena intralogística dentro de una empresa.

En el sistema automatizado de guardado de cajas hay parámetros que se deben tomar en cuenta correctamente, los más importantes son el número de productos y su tipo, que se obtendrán mediante sensores y programación, estos sensores detectarán mediante el tamaño de cajas el tipo del producto, estas señales serán convertidas a variables para que el hardware los pueda leer. Los parámetros de cantidad y tipos son de suma importancia, ya que mediante estos el software asignará un lugar en la estantería y registrará el producto en una base de datos para contabilizar y posteriormente almacenarlo.

El almacenamiento de las cajas estará dado por un parámetro en particular como el tipo, esta variable permite agrupar los productos en grupos similares, de tal manera que en el momento de registrar un tipo este constará dentro del grupo asignado y será contabilizado, además en la estantería los grupos estarán establecidos en

columnas de manera vertical de tal forma se le haga más fácil a los operarios o supervisores tener a una misma altura todos los tipos de producto, algo que es difícil si se almacena de forma horizontal, la técnica de almacenamiento consta en agrupar los productos similares verticalmente, donde se dividirán los productos por columnas.

Un proceso que se debe considerar antes de la etapa de registro y guardado del producto, es el de traslado, esta etapa será efectuada mediante una banda transportadora de rodillos donde la velocidad del traslado depende del tiempo de espera del producto que se está guardando o si encuentra en la etapa de registro, si una caja se encuentra en la etapa de registro la caja anterior debe esperar hasta que este sea llevado a la estantería, adicional a eso la velocidad es la suficiente para conservar la mercancía que este lleve dentro.

El sistema que almacena los productos está compuesto principalmente de dos motores, uno de operación vertical y otro de operación horizontal, para realizar el movimiento adecuado, también está constituido de una base móvil que consta de paletas de elevación retráctiles que se encargan de trasladar la caja desde la banda transportadora a la estantería. La ubicación del producto está dada por el software, dependiendo del tipo este tendrá designado una fila o columna (dependiendo de la programación) en la estantería.

El sistema de recuperación de los productos consta de los mismos componentes que tiene el sistema de almacenamiento, la diferencia de esta etapa es que este saca los productos almacenados en las estanterías dependiendo de las necesidades de la empresa o del operador, adicional este sistema realizará una reubicación de los productos que se encuentren en cantidades menores o que lleven demasiado tiempo almacenados de esa manera los productos nuevos que lleguen no tendrán que desplazarse a las estanterías posteriores.

Las variables de los sensores y actuadores se obtendrán del software de programación mediante la técnica de tags, que son asignadas a cada una de las

variables, esto servirá para poder enviar la información de las variables al servidor y este a la vez al SCADA.

Todo el sistema se ejecutará en un software de simulación 3D, donde se escogerá el tipo de controlador que se quiere usar, para la parte de la automatización se usará un PLC que es el encargado de registrar las variables de los sensores y de por medio controlará los actuadores mediante relés internos del dispositivo. Los datos y variables del sistema en general podrán ser visualizados mediante interfaces gráficas como SCADA a través de tecnología HMI, que permite observar los procesos efectuados y llevar un control de los productos almacenados. El diseño de planta está plasmado en el software de simulación mencionado, donde consta 3 etapas, la de transporte que es efectuado mediante una banda transportadora, la de detección que se realiza mediante los sensores y la última etapa es la de almacenamiento que es efectuado por un transelevador con horquillas retráctiles.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de almacenamiento y recuperación automatizado para el proceso de guardado de productos mediante procesos robustos apegados a la industria 4.0.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema de distribución de la planta para lograr un mejor acondicionamiento de espacios y equipos.
- Programar un PLC para que cumpla con los procesos requeridos del sistema.
- Diseñar un tablero de conexión eléctrica industrial para distribución de cableado de los equipos del sistema considerando las normas IEC.
- Diseñar una red de comunicación para la transmisión de datos del sistema mediante servidores virtuales.
- Desarrollar las interfaces gráficas en el HMI, SCADA y en una plataforma web para el monitoreo de procesos y visualización de datos del sistema.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

Para el diseño y automatización de un sistema de almacenamiento simulado se espera lo siguiente:

- Monitorear los procesos que realiza el sistema y llevar una supervisión de la mercancía almacenada.
- La lógica de la programación sea apta para una futura implementación y que realice el funcionamiento de almacenar y recuperar cajas dependiendo de la clasificación.
- El sistema de conexión eléctrica esté apto para la implementación en planta y pueda distribuir energía a todos los equipos del sistema con respectivas protecciones.
- Con la automatización y monitoreo de los sensores y actuadores del proceso obtener los datos lógicos para tener una mayor eficiencia del sistema.
- Con la respectiva comunicación entre software y hardware virtualizado conseguir transmitir los datos del sistema a una plataforma de comunicación.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto se orienta en modernizar el sistema de almacenamiento de productos a nivel comercial, aprovechando los espacios sin la necesidad de optar por un almacén mucho más amplio, usando las técnicas de almacenamiento más adecuados y modernos que contribuya a tener una mejor calidad de productos, mediante el cuidado, registro y guardado del mismo. Además, que sea viable para que diferentes empresas puedan implementar el sistema, y llevar un mejor control de la mercancía, gracias al uso de la industria 4.0 que en la actualidad es muy empleado por empresas reconocidas a escala mundial.

A nivel mundial empresas como Amazon y MercadoLibre, implementan sistemas de almacenamiento automatizados aplicando diferentes técnicas enfocadas en sus modelos de negocios que los han llevado a tener un gran éxito en las ventas de productos. Existen empresas que no cuentan con una buena gestión logística de los productos, lo que conlleva a tener pérdidas de capital y clientes. Dentro de la

logística interviene el almacenamiento, regularmente este proceso se lo realiza de manera tradicional o manual, donde las mismas personas recogen el producto recién llegado, lo transportan, lo almacenan, y registran, el tiempo que toma realizar todos estos procesos de manera manual es considerable, a parte se debe considerar factores adicionales, como el cuidado de la mercancía, los tiempos de descanso del personal, los turnos, y los costos que estos conllevan. Esta propuesta orientada a la industria comercial tiene como propósito mejorar la productividad y competitividad, gracias al uso de procesos automatizados y monitoreo de mercancías, enfocándose a los objetivos del nuevo Plan de Gobierno 2021-2025 [9].

El desarrollo de los sistemas automatizados en la industria comercial es un componente importante para aumentar la productividad y eficiencia, dado que, como se había mencionado el planificar una buena logística de almacenamiento hace que se disminuya los tiempos y costos dentro de una empresa, cambiando así el enfoque tecnológico de las demás empresas encaminando al comercio a la actualización de nuevos sistemas.

El sistema de almacenamiento automatizado permite al personal tener un mejor cuidado de la mercancía, ya que, el traslado dentro del almacén será efectuado por sistemas de bandas transportadoras garantizando la protección del producto, el registro de la cantidad de productos será controlada por sensores ayudando a tener un mejor registro de mercancías ,el proceso de guardado será realizado por un transelevador manteniendo en orden el almacenamiento del producto y de la misma forma el proceso de recuperación será efectuado por el transelevador permitiendo llevar un buen cuidado de los productos.

1.6 ALCANCE DEL PROYECTO

Para el diseño y simulación del sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas, el alcance del proyecto consta de diseñar la lógica programable que sea apta para realizar el proceso de automatización.

Obtener las variables de los sensores disponibles en el software de simulación, para controlar los actuadores respectivos del proceso mediante la programación del

sistema cargado en controlador lógico programable. Con los datos obtenidos, realizar la configuración adecuada para poder tener una visualización de los datos y procesos en pantalla.

La diferenciación de los productos será representada por los tamaños de las cajas y serán almacenados por un transelevador que funciona por numeración de posición, es decir, cada ubicación de la estantería tiene asignado un número, para guardar el producto solo se envía el dato de la posición y el transelevador lo ubica automáticamente en el sitio. Las cajas que se trasladan en la transportadora de rodillos van ubicadas de tal manera que sean detectados por los sensores, dichas cajas estarán colocadas encima de pallets suponiendo que se estén guardando varios productos.

Los tiempos de respuesta dependen de los recursos y componentes de la computadora, ya que, este realizará varios procesos a la vez, como el de ejecutar la programación, obtener los datos, simular el entorno y monitorear el proceso, por ese motivo puede existir retraso entre la acción y reacción de un proceso así también de la visualización de los datos.

La prueba de simulación es realizada en un escenario inicial donde aún no hay productos almacenados, el conteo inicia en cero desde que se empieza a ejecutar la simulación del programa en conjunto con la programación del controlador. Por tal motivo se recreará más escenarios para comprobar el sistema de reubicación y recuperación.

1.7 METODOLOGÍA

Para el diseño y simulación del proceso de almacenamiento y monitoreo de cajas se siguió la siguiente metodología:

- **Investigación bibliográfica:** Mediante la consulta en tesis, artículos, libros y revistas se sustrajo la información imprescindible como los métodos,

sistemas y los diferentes procesos para el monitoreo de los datos y automatización del proceso, enfocado a la industria 4.0.

- **Investigación diagnóstica:** Se evaluaron los dispositivos y sistemas, su funcionamiento, configuración para lograr la comunicación entre el programador lógico y la PC para obtener los datos correctos, a fin de tener un correcto monitoreo.

A continuación, se detalla las diferentes fases de la metodología del proyecto:

Fase 1

Investigación acerca del almacenamiento y recuperación automática, monitoreo de productos, indagación de los diferentes tipos de sensores y actuadores que se utilizan, recomendación sobre controladores programables lógicos usados en la industria, recopilación de información sobre los diferentes tipos de almacenamiento e investigación de los programas necesarios para la simulación.

Fase 2

Diseño y simulación del sistema, aplicando los conocimientos de teoría y práctica obtenidos durante el periodo de formación académica, para la selección del controlador programable adecuado, sensores, actuadores, motores y protecciones eléctricas entre otros.

Fase 3

Programación en el lenguaje adecuado para, codificar cada uno de los procesos que ejecutará el controlador lógico programable para el proceso de automatización y monitoreo del sistema de almacenamiento de cajas.

Fase 4

Configuración adecuada para lograr la correcta comunicación del controlador y una buena ejecución del programa, para la obtención de los datos que mediante

configuración de las variables se podrá tener una visualización en pantalla, para tener una monitorización del proceso.

Fase 5

Comprobación del funcionamiento del proceso de almacenamiento y recuperación automatizado mediante software de simulación y verificación de la monitorización de los procesos por medio de un sistema SCADA, HMI y plataforma web.

CAPÍTULO 2

2.1 MARCO CONTEXTUAL

En los últimos años, la automatización de los procesos industriales ha incrementado debido a su capacidad para agilizar dichos procesos y minimizar el tiempo y recursos humanos utilizados. Este proyecto se enfoca en la gestión del almacenamiento de cajas con productos en empresas. Hoy en día, muchas empresas buscan adoptar nuevas tecnologías y técnicas para mejorar la gestión de sus mercancías. A pesar de ello, en Ecuador aún existen empresas que realizan procesos de almacenamiento de manera manual o semiautomática, lo que puede resultar en productos dañados, maltratados e incluso en desorden en el almacén, lo que genera la necesidad de realizar un nuevo inventario.

Ante esta situación, la creación de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo resulta necesario para mejorar la eficiencia del transporte interno de cajas con productos, así como para facilitar su contabilización y almacenamiento. La monitorización de los procesos también es esencial y, de acuerdo con la investigación realizada por César Belupú, las interfaces más utilizadas son los HMI y los sistemas SCADA, los cuales serán considerados en este proyecto. Además, los datos recopilados podrán ser visualizados de manera remota, lo que permitirá adentrarse en la industria 4.0. Cabe destacar que la mayoría de las empresas ya utilizan estas interfaces [10].

Durante diciembre de 2022, el sector de transporte y almacenamiento representó el 6,5% de las ventas nacionales totales por sector, lo que está estrechamente relacionado con el sector manufacturero, que ocupó el segundo lugar en ventas nacionales con el 13,0%. Según la investigación realizada por Christopher Quijije, el 36,2% de las pequeñas y medianas empresas considera que es necesario implementar tecnología en el control de inventarios [11][12].

Uno de los sectores que genera más ingresos a nivel nacional, debe actualizarse por medio de la implementación de tecnología de gestión de inventarios. La

automatización del sistema de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas permitirá lograr una mayor eficiencia en los procesos realizados. La recopilación de datos se obtendrá de manera inmediata mediante el uso de un PLC, el cual ejecutará adecuadamente los procesos industriales, brindando mayor seguridad a las cajas con productos y ahorrando espacio en el almacén.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

Desde la llegada de la máquina a vapor de simple efecto inventada por James Watt, son muchos los procesos que se realizan para llegar a un producto final [13].

Por su posición dentro de la cadena de producción las industrias pueden clasificarse en tres:

- Primaria.
- Secundaria.
- Terciarias.

Las industrias primarias se dedican a la obtención de materia prima directamente de la naturaleza, ya sea del reino vegetal, animal o mineral, y realizan su transformación inicial. Por otro lado, las industrias secundarias parten de los productos obtenidos en la industria primaria y los convierten en productos utilizables por los seres humanos. Por último, las industrias terciarias son aquellas que se encargan de producir los bienes y servicios que son empleados directamente por las personas. De esta manera, las industrias han dado un gran paso en la producción masiva de productos con la ayuda de la fuerza humana. [13].

Los procesos industriales son una secuencia de actividades técnica y operaciones interconectadas que se realizan con el fin de transformar materiales, recursos y energía en productos finales o semielaborados. Estos procesos pueden incluir la extracción de materia prima hasta la manufactura, el envasado y la repartición de productos finales.

La complejidad de un proceso industrial puede variar dependiendo del tipo de producto. De la misma forma para la elaboración de un producto se debe tener en cuenta que este pasa por varias etapas.

Debido al aumento del comercio y la riqueza generada por la era colonial, surgieron cuatro revoluciones industriales, desde la 1.0 hasta la 4.0. La revolución industrial 1.0 se originó con la invención de la máquina de vapor y la mecanización de la industria textil, lo que permitió una mayor producción y una expansión del comercio global. La revolución industrial 2.0 llegó con la electricidad y la innovación en la industria química y petrolera. La revolución industrial 3.0 comenzó en la década de 1960 con la invención de los circuitos integrados y la creación de las computadoras, lo que permitió la automatización de procesos industriales. Por último, la revolución industrial 4.0 se refiere a la integración de tecnologías digitales, físicas y biológicas, y está en desarrollo actualmente. Esta revolución incluye la inteligencia artificial, la robótica, el Internet de las cosas, entre otras tecnologías, lo que permite una mayor eficiencia y personalización en la producción [14] [15].

La llegada de la industria 4.0 supuso una revolución en los métodos de trabajo de las empresas, ya que incorporó nuevas tecnologías y métodos de control para mejorar la eficiencia y productividad de los procesos de fabricación de productos. Esto a su vez reduce los costos de producción y mejora la calidad del producto final, brindándole un valor agregado.

2.2.2 TECNOLOGÍAS DE GESTIÓN DE ALMACENES

Según Letty Elizalde la gestión de almacenes es un proceso clave para regular los flujos entre oferta y demanda, optimizar los costos de distribución y satisfacer los requerimientos de los procesos productivos. La gestión de almacenes es importante en la gestión de la cadena de suministros porque está directamente implicada en el intercambio de información y bienes entre proveedores y clientes en la cadena de suministro [16].

Por tal motivo, se han aplicado diferentes maneras utilizando la tecnología para gestionar los almacenes. Estos lugares pueden variar dependiendo del producto que

almacenen y del servicio que brinden. Sin embargo, la gestión de los inventarios es similar en todos los casos. A continuación, se nombran varias tecnologías utilizadas en la gestión de almacenes y logística, agrupadas en su área específica:

- IDENTIFICACIÓN
 - RFID.
 - QR.
 - Códigos de Barra.
- TRASLADO Y MOVIMIENTO
 - Drones.
 - Automatización de transportadores.
- ALMACENAMIENTO
 - Picking Automático.
 - WMS.

2.2.2.1 IDENTIFICACIÓN

RFID

RFID es el acrónimo de Identificación Automática por Radio Frecuencia. Es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos que transmite la identidad de objetos mediante ondas de radio. Utiliza etiquetas o tags RFID, dispositivos pequeños adheridos a objetos que responden a solicitudes de un emisor-receptor RFID. Las etiquetas pasivas no necesitan alimentación eléctrica, mientras que las activas sí. Esta tecnología ofrece identificación remota e inalámbrica con chips más pequeños que un grano de arena, conteniendo una antena que proporciona un identificador único. A diferencia de los códigos de barras o bandas magnéticas, las etiquetas RFID identifican objetos a mayor distancia sin requerir línea de vista directa [17] (Ver figura 1).

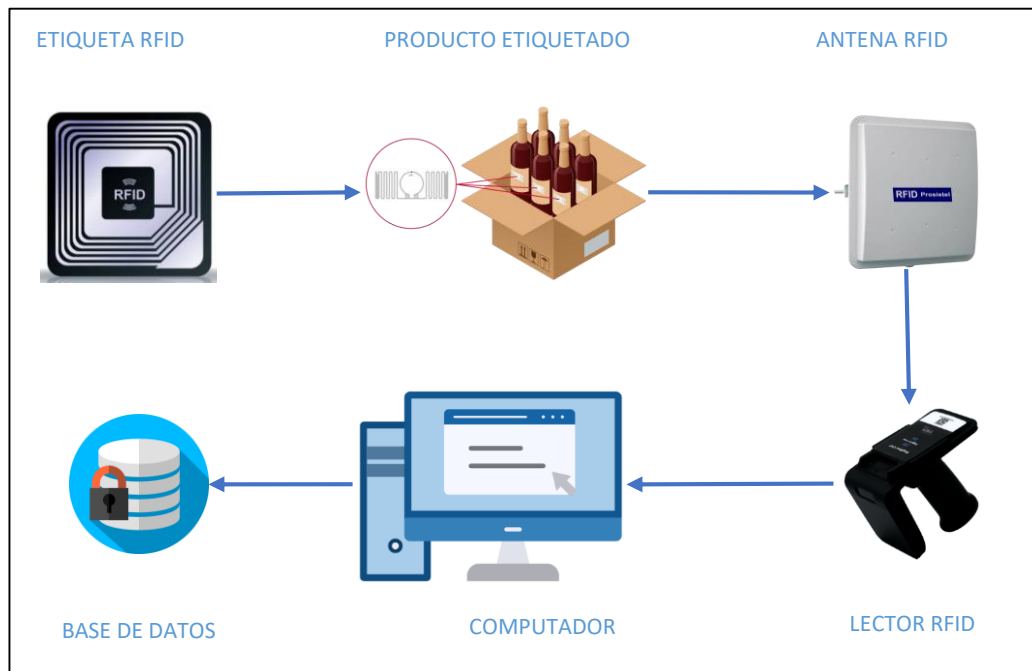


Figura 1. Sistema RFID.

Desde la creación de las etiquetas para productos, el uso de la tecnología RFID se ha vuelto fundamental en la logística de almacenamiento, ya que ofrece una identificación más precisa y eficaz en comparación con los códigos de barras. Sin embargo, la implementación de esta tecnología puede ser costosa, debido a que requiere una inversión significativa en equipos como antenas, impresoras RFID, lectores portátiles y fijos, sistemas de comunicación, y un gran número de etiquetas, dependiendo de la cantidad de productos que maneja la empresa.

CÓDIGOS DE BARRAS

La tecnología del código de barras se utiliza para identificar productos y unidades de carga en los procesos de logística de almacenamiento. Su implementación trae varias ventajas, como una mayor velocidad en el ingreso de datos, la facilitación de la ubicación de la mercancía y un bajo costo de impresión. Es una tecnología fácil de implementar y se utiliza en sistemas de gestión de almacenes como WMS, YMS, LMS, entre otros. La desventaja de este tipo de código de barras es que es necesario disponer de escáneres patentados, y la ubicación del código debe ser correcta o si no puede dar errores de lectura [18] (Ver figura 2).



Figura 2. Códigos de barras.

CÓDIGOS QR

Un código QR es un tipo de código de barras bidimensional compuesto por una serie de cuadros negros sobre un fondo claro. Su nombre, en español, significa "respuesta rápida". Fue creado por TOYOTA en 1994. A diferencia de los códigos de barras convencionales, los códigos QR pueden almacenar una mayor cantidad de información en un espacio reducido. Además, tienen la ventaja de ser detectables incluso si falta alguna parte del código o si está sucio, y pueden ser escaneados desde cualquier dirección. También es posible incrustar códigos QR dentro de otros códigos [19] (Ver figura 3).

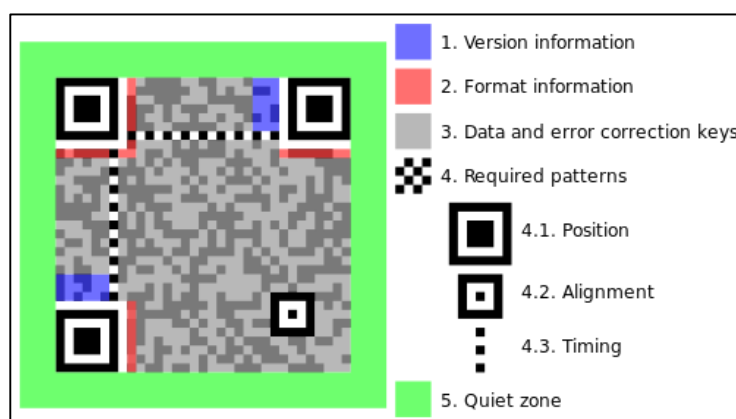


Figura 3. Código QR.

En la gestión de inventarios, los códigos QR son especialmente útiles en pequeñas empresas que no pueden invertir en escáneres patentados debido a costos iniciales más bajos. Cualquier empleado puede utilizar su teléfono inteligente para escanear

los códigos. Los códigos QR permiten almacenar una amplia variedad de información, como la ubicación del inventario, fechas de fabricación, fechas de caducidad, entre otros datos. Además, existen software como “QR Codes Inventory Management” que facilitan la consulta de informes, transacciones, ubicaciones específicas en el almacén, ventas totales, entre otros aspectos.

2.2.2.2 TRASLADO Y MOVIMIENTO

DRONES

Los drones son dispositivos aéreos no tripulados que también se conocen como RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) o UAV (Unmanned Aircraft Vehicle). Estos vehículos tienen la capacidad de obtener datos geoespaciales a través de un sensor, lo que les permite ubicarse y llegar a lugares específicos (Ver figura 4). Además, pueden acoplarse diferentes aplicaciones, como cámaras fotográficas, cámaras especializadas para termografía, cámaras de video de alta resolución 4K full HD y sensores de monitoreo, de acuerdo con su funcionalidad. Estas tecnologías son utilizadas tanto en el ámbito civil como militar y, especialmente en sus inicios, están transformando la manera en que las empresas prestan sus servicios [20].

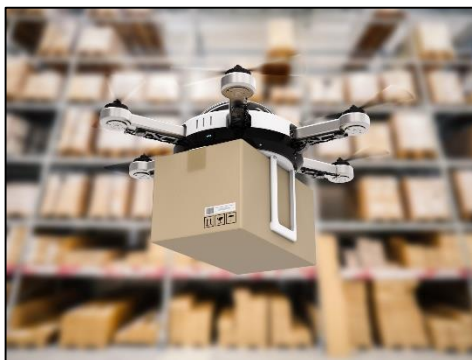


Figura 4. Dron trasladando caja.

En varios países, como España, México y Estados Unidos, muchas empresas están utilizando drones como una nueva tecnología para mejorar sus operaciones logísticas. Amazon fue la primera empresa en hacer uso de esta tecnología, solicitando autorización a la autoridad de aviación civil del Reino Unido para hacer entregas de productos a los clientes a través de drones. Otras empresas conocidas,

como Google, Facebook, Dominos Pizza y Pizza Hut, entre otras, también han comenzado a implementar el uso de drones [21] (Ver figura 5).



Figura 5. Dron identificando cajas.

En la lógica de almacenamiento el uso de drones es de suma importancia ya que se pueden equipar con los componentes necesarios para realizar una inspección y análisis del almacén, componentes como GPS para determinar su posición en tiempo real, para eso es necesario una buena conexión a internet, para evitar la pérdida de datos, adicional los sensores OCR para es imprescindible ya que se tiene por conocimiento que los productos son clasificados por etiquetas, códigos de barras, códigos QR, entre otras de esa manera el Dron facilita una lectura eficaz de todos los productos dentro de un almacén.

AUTOMATIZACIÓN DE TRANSPORTADORES

Cuando se menciona el término "transportadores", se está haciendo referencia a los sistemas mecánicos diseñados para desplazar materiales de un punto a otro dentro de una fábrica o almacén. Estos sistemas tienen como objetivo principal realizar el traslado de manera eficiente y en un tiempo reducido. Uno de los tipos de transportadores más conocidos son las bandas transportadoras, que están disponibles en diferentes variantes, como transportadores de rodillos o de cinta (Ver figura 6).

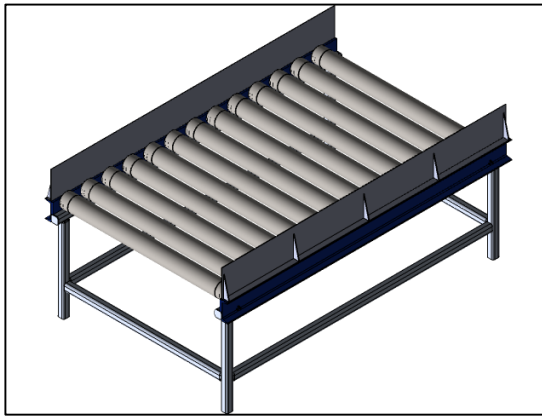


Figura 6. Banda transportadora de rodillos.

La elección del tipo de transportador a utilizar depende del material que se va a transportar, y se deben tener en cuenta características como el tipo de material, su tamaño, peso y velocidad de transporte. Además, también es importante considerar factores externos como el clima, el tipo de organización y los procesos de preparación previos y posteriores al transporte [22].

2.2.2.3 ALMACENAMIENTO

PICKING AUTOMÁTICO

El Picking, también denominado preparación de pedidos o recolección de productos, es una actividad crucial en la gestión de inventarios y la logística empresarial. Consiste en elegir de manera precisa los productos solicitados en un pedido o solicitud, ya sea para su entrega al cliente final o para su envío a otro destino dentro de la empresa o a otro punto de distribución.

La recuperación de productos de su lugar de almacenamiento puede ocurrir de tres formas distintas [23].

- 1. Selección individual:** en esta modalidad, se recoge un único producto de una ubicación específica.
- 2. "Ruta de Recogida":** en este caso, se recuperan varios productos diferentes pertenecientes a un mismo pedido antes de regresar a la zona de preparación. El volumen recogido en una ruta está limitado por la capacidad del contenedor utilizado en la operación.

3. Asignación de zonas de recogida a cada trabajador: cada empleado recibe una zona de recogida específica. Dentro de su zona, el trabajador lleva a cabo su recogida de manera individual o siguiendo una ruta predefinida.

En un almacén altamente automatizado, las operaciones de extracción y ubicación ocurren simultáneamente. Sin embargo, surge un desafío relacionado con la asignación de espacios para el almacenamiento.

WMS

La implementación de un sistema de gestión de almacén (SGA) o Warehouse Management System (WMS) ofrece numerosas ventajas al mejorar la calidad del servicio de los productos, garantizar un control más preciso de los inventarios, optimizar el espacio de almacenamiento y asegurar un mejor cuidado de la mercancía. Además, reduce los costos operativos, minimiza las fallas entre los procesos, aumenta la productividad y maximiza la capacidad del centro de distribución o almacenamiento [24].

Los objetivos principales de un sistema de gestión de almacén son reducir los costos, aumentar la rotación de inventario, mejorar la productividad y disminuir las operaciones diarias [25].

2.2.3 SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN

Existen sistemas automatizados de recolección y almacenamiento en bodega que brindan un control adicional para cada artículo transportado y facilitan la gestión de inventarios de dimensiones considerables. Uno de estos sistemas es el AS/RS (Sistemas de Almacenamiento y Recuperación Automática, por sus siglas en inglés) (ver anexo 1). Este sistema es controlado y supervisado mediante un controlador que por lo general en grandes industrias suelen ser PLC's, donde un mecanismo de almacenamiento y recuperación se desliza entre las estanterías. Su objetivo principal es minimizar al máximo la intervención humana, reduciendo así los errores y accidentes en el proceso [26].

La implementación y diseño de estos sistemas pueden variar, el principal objetivo del sistema es de reducir costos y espacios. Por eso es importante considerar el tipo de producto, inventario o mercancía que se almacenará, lo cual también influirá en el tipo de estantería utilizado, ya que existen diferentes opciones disponibles.

Otro aspecto para analizar es la frecuencia con la que se almacenan y recuperan los productos. En el caso de puntos de distribución o empresas de fabricación con una alta frecuencia de movimiento de productos, se requieren equipos duraderos y de bajo consumo energético. Por otro lado, si se trata de una empresa que almacena productos durante períodos más prolongados sin recibir nuevos envíos durante días, semanas o meses, los requisitos pueden ser diferentes.

Es fundamental considerar estos factores al seleccionar e implementar el sistema de almacenamiento y recuperación automática adecuado.

2.2.4 SISTEMAS DE MONITOREO DE PROCESOS INDUSTRIALES

2.2.4.1 INTERFACES HMI

Los sistemas de monitoreo son de vital importancia en el ámbito empresarial, ya que permite supervisar de manera exhaustiva todos los procesos involucrados en la fabricación de un producto, monitorear el entorno de trabajo o el almacenamiento de mercancías.

Las interfaces de monitoreo más usadas en el mundo de las industrias son los sistemas HMI y SCADA, los sistemas HMI por sus siglas en inglés “Human Machine Interface” es una interfaz que permite la interacción entre los seres humanos y las máquinas. Las interfaces HMI se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, como en sistemas de control industrial, maquinaria, equipos médicos, dispositivos electrónicos y más. Estas interfaces suelen presentarse en forma de pantallas táctiles, paneles de control, teclados, botones y otros dispositivos de entrada y salida, que permiten a los usuarios interactuar y comunicarse con la máquina o sistema de una manera intuitiva y eficiente.

El diseño personalizado de interfaces HMI permite su utilización en el análisis de tendencias, la generación de informes, el control de sistemas y la resolución de cualquier alarma que pueda surgir durante la operación de una planta [27].

Estas interfaces se usan de manera local, cerca de planta debido a que cumple con parámetros que los hacen resistentes a este tipo de ambientes (Ver figura 7).



Figura 7. HMI.

2.2.4.2 SISTEMAS SCADA.

Al igual que las interfaces HMI, los sistemas SCADA son sistemas de monitoreo, pero con una utilidad diferente. De sus siglas en inglés “Supervisory Control and Data Acquisition” es un sistema de control y adquisición de datos supervisado que se utiliza para monitorear y controlar procesos industriales en tiempo real. La principal diferencia entre el sistema SCADA y las interfaces HMI radica en la capacidad de monitorear un mayor número de procesos. Mientras que las interfaces HMI se utilizan generalmente para supervisar una línea de producción y se implementan localmente cerca de la planta, los sistemas SCADA se utilizan con mayor frecuencia en oficinas o salas de control. A diferencia de las interfaces HMI, los sistemas SCADA se ejecutan en computadoras, lo que implica una menor resistencia a los ambientes industriales [27].

El sistema SCADA interactúa con los diversos dispositivos instalados en la planta, como registradores, controladores, sensores, actuadores, autómatas, entre otros. Normalmente, el software está vinculado al uso de una computadora o PLC. Los

controladores de campo se encargan de ejecutar las acciones de control, pero la comunicación entre el sistema y el operador se lleva a cabo a través de computadoras. Aunque es posible que el operador tome el control del proceso en cualquier momento si es necesario [28].

Es importante destacar que al implementar el software del sistema SCADA, es necesario utilizar un servidor de comunicación. Este software se encarga de recopilar los datos de las etiquetas asociadas a los actuadores o sensores de la planta y los envía al sistema para configurar la visualización óptima de los procesos (Ver figura 8).



Figura 8. SCADA.

2.2.5 PLC

El PLC es un dispositivo electrónico programable diseñado específicamente para controlar procesos secuenciales en tiempo real, principalmente en entornos industriales (Ver figura 9).

Este es un hardware que consta de entradas y salidas, el cual el número varía dependiendo de la aplicación, a la vez estas entradas pueden ser digitales o analógicas lo que amplía las posibilidades de acoplar todo tipo de sensores. El funcionamiento de este dispositivo funciona siguiendo una serie de instrucciones, los cuales pueden ser programados en diferentes lenguajes, uno de los más usados es el lenguaje de escalera (Ladder Logic), pero también acepta la programación en lenguaje estructurado (Structured Text) o en lenguaje de bloques de funciones [29].



Figura 9. PLC.

2.2.6 SEGURIDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE CAJAS CON PRODUCTOS

En la mayoría de los estudios logísticos, se prioriza la eficiencia, rentabilidad y control en áreas como el abastecimiento, producción, almacenamiento y distribución de mercancías. No obstante, se suele prestar escasa atención al bienestar de los trabajadores. Los centros de distribución representan un alto riesgo para los empleados, por lo tanto, es fundamental realizar un análisis de riesgos que identifique los peligros presentes en el almacén y evalúe las consecuencias e impacto asociados a su implementación. Una herramienta comúnmente utilizada para este propósito es la matriz de riesgo del INSHT de España, que se presenta a continuación [30] (ver tabla 1).

Tabla 1. Matriz de Riesgos laborales, INSHT.

| Niveles de Riesgo | | CONSECUENCIA | | |
|-------------------|---------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| | | 1-Ligeramente dañino | 2- dañino | 3-Extremadamente dañino |
| PROBABILIDAD | 1-Baja | 1-Riesgo trivial | 2-Riesgo tolerable | 3-Riesgo moderado |
| | 2-Media | 2-Riesgo tolerable | 4-Riesgo moderado | 6-Riesgo importante |
| | 3-Alta | 3- Riesgo moderado | 6-Riesgo importante | 9-Riesgo intolerable |

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España ha desarrollado normas técnicas de prevención, conocidas como NTP, que abordan actividades específicas en los procedimientos de un punto de distribución. Algunas de estas normas son:

- **NTP 1112:** Esta norma se enfoca en la seguridad del almacenamiento de materiales mediante el uso de pallets y apilamiento en el suelo, y fue publicada en el año 2018.

El propósito de esta NTP es establecer pautas generales que permitan un almacenamiento seguro de diversos materiales. Esto se logra mediante la descripción de varios sistemas de almacenaje que implican el apilado de los materiales en el suelo, ya sea directamente o utilizando paletas. Además, la norma aborda los riesgos y factores de riesgo asociados con estas operaciones, así como las medidas de prevención y protección necesarias para mitigarlos. Cabe destacar que la descripción de sistemas de almacenaje no es exhaustiva, pero se proporcionan criterios clave para garantizar la seguridad en estas actividades [31].

- **NTP 852:** Esta norma aborda el almacenamiento en estanterías de metal y fue publicada en el año 2009.

El propósito de esta NTP es proporcionar una descripción detallada del sistema de almacenamiento en estanterías metálicas. En ella se identifican los riesgos asociados con las especificaciones, diseño, fabricación y montaje de estas estanterías, así como durante las labores de operación. Además, se brindan recomendaciones sobre las medidas de prevención y protección que se deben adoptar en cada caso para mitigar dichos riesgos. El objetivo principal es garantizar la seguridad de los trabajadores involucrados en el manejo y uso de las estanterías metálicas, mediante la implementación de las medidas adecuadas [32].

- **NTP 298:** Esta norma se centra en el almacenamiento en estanterías y estructuras, y fue publicada en el año 1993.

Las instalaciones de almacenamiento en estanterías y estructuras ofrecen la posibilidad de almacenar productos en alturas elevadas. Sin embargo, este tipo de almacenamiento expone al personal encargado del montaje y operación a diversos riesgos. El propósito de esta NTP es describir los diferentes tipos de almacenamiento en estanterías y estructuras, y destacar los riesgos asociados con el diseño, montaje y las tareas de operación. Asimismo, se proporcionan medidas de prevención y protección específicas para cada caso, con el objetivo de garantizar la seguridad de los trabajadores involucrados en estas actividades [33].

- **NTP 1076:** En esta norma se trata la seguridad de los muelles de carga y descarga, y fue publicada en el año 2013.

En esta NTP se detallan las especificaciones técnicas que deben cumplir los muelles, así como los riesgos y factores de riesgo asociados. Además, se presentan las medidas de prevención y protección necesarias para eliminar o reducir los riesgos mencionados. El objetivo principal es proporcionar directrices claras para garantizar la seguridad en el diseño, construcción y operación de los muelles, y así prevenir accidentes y proteger la salud de los trabajadores [34].

- **NTP 477:** Esta norma aborda el levantamiento manual de cargas y utiliza la ecuación de NIOSH, y fue publicada en el año 1998.

El propósito de esta Nota Técnica es difundir la ecuación del NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, EE. UU.) para calcular el peso máximo recomendado en la manipulación manual de cargas. Se busca rediseñar los puestos de trabajo y evitar el riesgo de lumbalgia por manejo de cargas. En resumen, se proporcionan directrices para establecer límites seguros de peso, protegiendo la salud de los trabajadores y previniendo lesiones lumbares. [35].

Estas normas técnicas de prevención proporcionan directrices y recomendaciones para promover la seguridad en las actividades de almacenamiento y distribución, y han sido desarrolladas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España.

2.2.7 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA

Hoy en día, es imposible hablar de desarrollo tecnológico o diseño de productos sin mencionar las nuevas tecnologías en constante crecimiento. El campo del Diseño Asistido por Computadora (CAD) está experimentando una evolución continua, y la mayoría de las disciplinas tecnológicas lo utilizan para aumentar la productividad de los diseñadores y lograr creaciones cada vez más complejas y precisas [36].

El CAD es ampliamente utilizado en diversas industrias, como la arquitectura, la ingeniería, el diseño industrial y la fabricación. Permite a los diseñadores y profesionales crear representaciones virtuales precisas de productos y estructuras antes de su fabricación o construcción física. Los sistemas CAD ofrecen una amplia gama de herramientas y funcionalidades, como la creación y manipulación de formas, la aplicación de texturas y materiales, la simulación de ensamblajes y la generación automática de documentación técnica.

En la industria, algunos de los softwares de CAD más usados son:

1. AutoCAD: Desarrollado por Autodesk, es de los más populares y usado en múltiples industrias. Proporciona herramientas completas para el diseño 2D y 3D, así como para la documentación técnica. Además, tiene divisiones para ramas específicas de la ingeniería como ingeniería civil y eléctrica, facilitando el diseño de planos, tableros, redes entre otros.
2. SolidWorks: Desarrollado por Dassault Systèmes, es un software de CAD en 3D usado principalmente en el área de la ingeniería mecánica. Y es conocido por su facilidad de uso y proporciona un modelado sólido. Este también tiene un software especializado para cada rama, en el área de ingeniería eléctrica es muy usado el SolidWorks Electrical.

3. Eplan Electrical: Este es un software desarrollado por EPLAN, es especialmente utilizado en la industria de la ingeniería eléctrica y automatización, donde se requiere un enfoque específico en el diseño de sistemas eléctricos y de control. Este software permite a los ingenieros crear y gestionar de manera eficiente los diagramas eléctricos y la documentación asociada, agilizando así el proceso de diseño y la generación de información técnica.

2.2.8 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.2.8.1 NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC - INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS.

PARTE 15-1. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJO VOLTAJE

Esta norma busca establecer los requisitos mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas de baja tensión. Su objetivo principal es proteger a las personas que operan o utilizan estas instalaciones, salvaguardar los equipos y preservar el entorno en el que se construyen. La norma se centra en aspectos de seguridad. Cumplir con esta norma y realizar un mantenimiento adecuado asegura una instalación prácticamente libre de riesgos. Sin embargo, no garantiza necesariamente la eficiencia, el buen servicio, la flexibilidad y la facilidad de ampliación de las instalaciones, ya que estos aspectos dependen de un estudio detallado de cada proceso o entorno específico y de un proyecto adecuado. Las disposiciones de esta norma están dirigidas a profesionales especializados para su aplicación e interpretación. No se debe considerar este texto como un manual de instrucciones o de diseño [37].

PARTE 15.1.6 TABLEROS

Los paneles eléctricos son componentes fundamentales de una instalación, ya que integran dispositivos de protección y control. Estos paneles permiten proteger y operar toda la instalación o una parte específica de la misma. Es crucial que estos

paneles proporcionen un alto nivel de seguridad y confiabilidad para salvaguardar a las personas y las instalaciones [37].

15.1.6.1.1.3. Paneles de Distribución

Son paneles que incluyen dispositivos de protección y control que posibilitan la protección y operación directa de los circuitos en los que se divide una instalación o una sección de esta. Estos paneles pueden recibir suministro de energía tanto desde un panel principal como desde un panel principal auxiliar.

15.1.6.1.1.4. Tableros de Control o Comando

Los paneles son estructuras que albergan dispositivos de protección y control, o solo dispositivos de control, que facilitan la operación de conjuntos de dispositivos, ya sea de forma individual, en subgrupos, de manera programada o manual. Esto incluye los paneles de arranque de motores y los paneles tipo centro de control de motores.

2.2.8.2 Norma IEC 61131

La norma IEC 61131 es una norma internacional que establece los estándares para la programación de controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés). Esta norma define un conjunto de lenguajes de programación comunes y un entorno de desarrollo integrado (IDE) para la programación de PLCs.

La norma IEC 61131 incluye los siguientes lenguajes de programación:

1. Ladder Diagram (LD): Es un lenguaje de programación gráfico basado en la representación de circuitos eléctricos mediante contactos y bobinas.
2. Function Block Diagram (FBD): Es un lenguaje de programación gráfico que utiliza bloques funcionales interconectados para describir la lógica del programa.
3. Structured Text (ST): Es un lenguaje de programación basado en texto similar a los lenguajes de programación convencionales, como C o Pascal.
4. Instruction List (IL): Es un lenguaje de programación basado en una lista de instrucciones en lenguaje ensamblador.

5. Sequential Function Chart (SFC): Es un lenguaje de programación gráfico utilizado para describir el comportamiento secuencial de un programa.

La norma IEC 61131 proporciona un marco común para el desarrollo de aplicaciones de automatización industrial, lo que permite a los fabricantes de PLCs y a los programadores trabajar de manera consistente y compatible en diferentes sistemas. Esto facilita la reutilización del software y mejora la interoperabilidad entre los diferentes componentes de automatización [38].

2.2.8.3 Norma ISO 9241

La Norma ISO 9241 en la parte 10 establece las pautas para el diseño de la utilidad de los sistemas de interacción. El principal objetivo de esta norma es garantizar que los sistemas interactivos sean eficientes, efectivos y confortables para los usuarios.

Los principios fundamentales de esta norma comprenden la orientación al usuario, que hace referencia a lo importante que el diseño sea fácil de entender y usar, que sean consistentes, es decir que incluyan patrones y convenciones reconocibles, y que proporcione información clara, precisa y relevante sobre las interacciones del usuario.

Además, se menciona la importancia del ciclo de vida de los equipos, desde la etapa de diseño hasta las pruebas finales. Se enfatiza la necesidad de involucrar a los usuarios en todas las etapas del proceso de diseño para garantizar que se satisfagan sus necesidades y expectativas.

En general, la Norma ISO 9241 en la parte 10 provee directrices importantes para el diseño de los sistemas interactivos que sean útiles y confortables para los usuarios. Al seguir estas pautas, las organizaciones pueden mejorar la calidad de sus productos y servicios digitales, brindando una experiencia positiva a los usuarios finales [39].

2.2.9 SENSORES Y ACTUADORES

A lo largo de la historia de la humanidad, ha existido una constante necesidad de extraer energía de fuentes naturales y transformarla en formas útiles para el beneficio humano. Este deseo ha sido incluso anterior al desarrollo tecnológico actual y a los métodos utilizados en la conversión de energía. Hoy en día, gracias a sistemas integrales, es posible observar, medir y modificar las variables y atributos físicos involucrados en este proceso de conversión energética.

A lo largo del tiempo, el uso de sensores y actuadores se ha vuelto fundamental en diversos campos. Es importante comprender cómo se clasifican estos dispositivos y cuáles son sus características principales [40].

2.2.9.1 Transductores

La función principal de este dispositivo es transformar una variable física proveniente de la naturaleza en otra variable con un dominio diferente. En la actualidad, los transductores y los sensores suelen estar integrados, pero se diferencian en sus roles. El transductor se encarga de llevar a cabo la acción específica determinada por el sistema de procesamiento de información, mientras que el sensor proporciona una salida manipulable que se utiliza como variable de entrada en el sistema de procesamiento de información. En resumen, el transductor convierte las variables físicas en variables o señales eléctricas.

Existen varios tipos de transducción dependiendo de la variable física que se desea obtener, en la siguiente ilustración se muestra los principios físicos de transformación de energía [40] (ver figura 10).

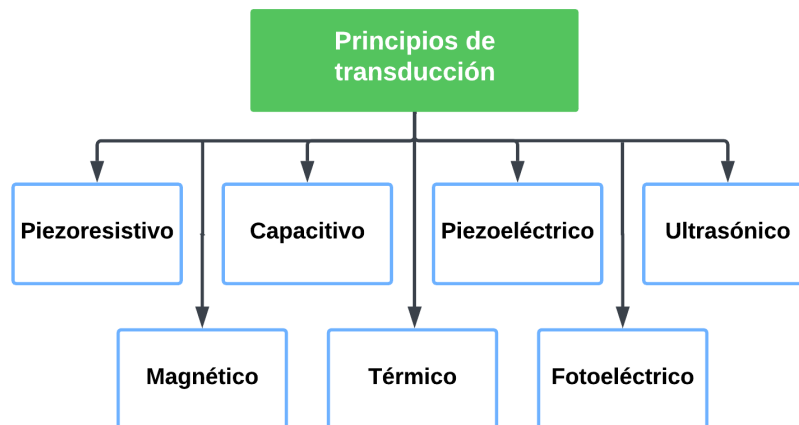


Figura 10. Principios de transducción.

2.2.9.2 Sensores

El concepto de sensor está estrechamente vinculado al término transductor, ya que el sensor siempre utiliza un transductor. Sin embargo, la salida de un sensor se utiliza para diversos propósitos, como sistemas de medición de temperatura, nivel, luminosidad, pH, humedad, proximidad, presión, entre otros. Existe una amplia variedad de sensores que ofrecen muchas posibilidades tanto en el ámbito educativo como en el industrial.

Una diferencia importante entre el transductor y el sensor es que el transductor puede funcionar tanto como entrada como salida, mientras que el sensor se utiliza únicamente como entrada. En el caso de los sensores, no solo se requiere que capturen la variable física, sino también que la conviertan según el sistema en el que se utilicen. Algunos sistemas requieren sensores analógicos, mientras que otros necesitan sensores digitales. Como se mencionó anteriormente, el sensor está relacionado con los transductores, lo cual da lugar a una variedad de sensores dependiendo del transductor utilizado, como se ilustra en la siguiente figura [40] (Ver figura 11).

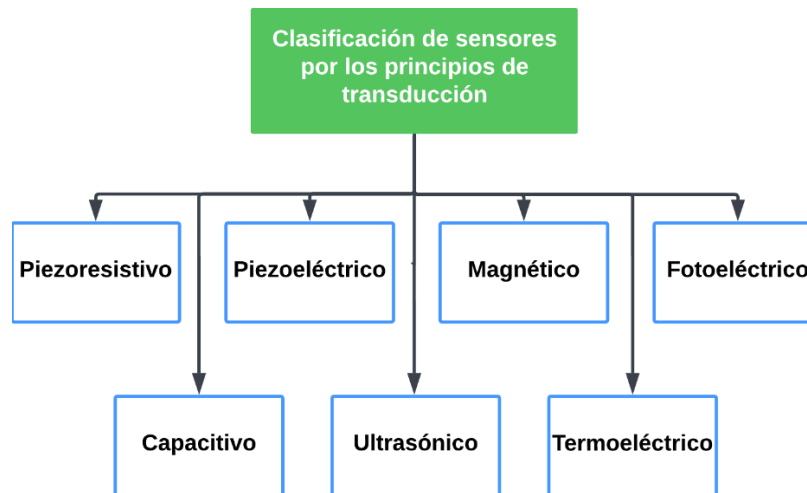


Figura 11. Clasificación de los sensores por los principios de transducción.

2.2.9.3 Actuadores

Los actuadores son dispositivos que permiten controlar y modificar el entorno físico en respuesta a señales eléctricas o digitales con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de velocidad, de posición o de estado. Algunos ejemplos comunes de actuadores son:

- **Motores eléctricos:** Transforman la energía eléctrica en movimiento mecánico.
- **Válvulas:** Controlan el flujo de fluidos, como líquidos o gases.
- **Actuadores piezoeléctricos:** Generan movimiento mecánico en respuesta a cambios en el campo eléctrico.
- **Actuadores neumáticos:** Utilizan aire comprimido para generar fuerza y movimiento.

Las características principales de los sensores y actuadores varían dependiendo de su tipo y aplicación específica. Algunas características comunes incluyen precisión, rango de medición, respuesta temporal, sensibilidad, durabilidad y compatibilidad con diferentes sistemas de control.

En resumen, los sensores y actuadores desempeñan un papel crucial en numerosos campos, y su clasificación y características principales son fundamentales para comprender su funcionamiento y aplicaciones.

2.2.10 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Para establecer una comunicación efectiva entre dispositivos en entornos industriales, es fundamental considerar aspectos clave, como cumplir con las normas y estándares que regulan la transmisión de datos y aseguran la interoperabilidad entre equipos y sistemas. Existen diversos protocolos de comunicación utilizados en la industria, y su elección depende del tipo de sistemas implementados. En este contexto, se presentan a continuación los protocolos más ampliamente utilizados en la industria [41].

Protocolo de comunicación MODBUS

El protocolo de comunicación MODBUS surgió en 1973 para satisfacer la necesidad de interconectar equipos en entornos industriales. Fue desarrollado por la empresa MODCOM, la misma que creó el primer PLC años atrás. MODBUS es un protocolo de mensajería basado en la arquitectura maestro-esclavo, también conocida como cliente-servidor. Se encuentra en la capa de aplicación 7 del modelo OSI (ver tabla 2) y se puede implementar en diferentes capas físicas, como redes seriales (MODBUS RTU/ASCII) o redes Ethernet (MODBUS TCP) [42] (Ver figura 12).

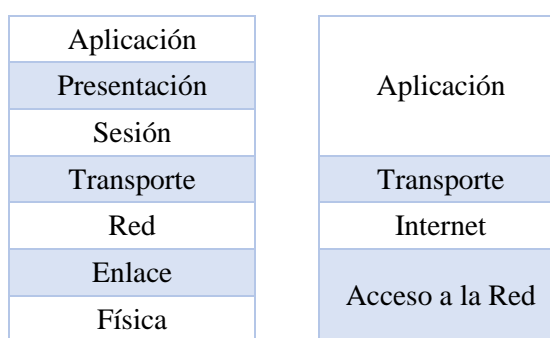


Figura 12. Modelo OSI y Modelo TCP/IP.

El protocolo se emplea principalmente para interconectar dispositivos industriales como HMIs, SCADAs, PLCs y dispositivos de entrada y salida. Se basa en una arquitectura cliente-servidor en la que hay un único maestro y varios esclavos. La

comunicación se establece en pares, donde el maestro se comunica con un esclavo a la vez. Es importante destacar que el maestro es quien realiza las solicitudes y procesa las respuestas de los esclavos. La comunicación siempre es iniciada por el maestro y los esclavos no transmiten datos sin una solicitud previa del maestro ni se comunican entre sí [42] (Ver figura 13).

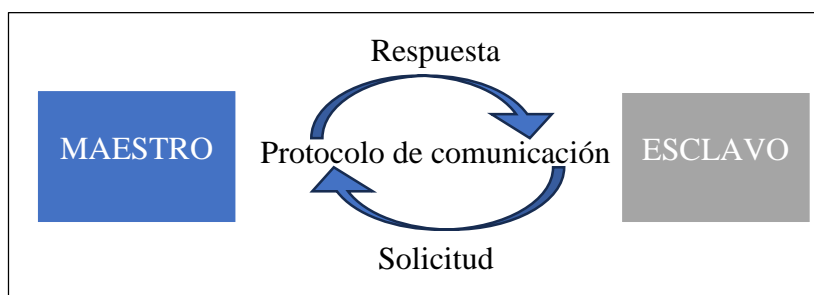


Figura 13. Arquitectura maestro-esclavo.

Protocolo de comunicación PROFIBUS

Profibus, que significa Process Field Bus, no utiliza Ethernet como base, sino la línea serial RS485. Profibus es administrado por "Profibus & Profinet International" y su red está compuesta por nodos maestros y esclavos. Los maestros se encargan de interrogar a los dispositivos esclavos para controlarlos y recopilar información. La velocidad de transmisión de la red Profibus es más lenta en comparación con los otros protocolos evaluados, alcanzando aproximadamente 12 Mbits/s [43].

Protocolo de comunicación PROFINET

Profinet, también conocido como Process Field Net, es un protocolo Ethernet industrial que al igual que PROFIBUS se mantiene bajo la organización "Profibus & Profinet International". Es una tecnología abierta e independiente de proveedores, pero requiere ser miembro de la organización para acceder a información y soporte. Profinet tiene dos versiones: Profinet IO y Profinet CBA, siendo Profinet IO el enfoque principal de este proyecto. Profinet IO se centra en la distribución de unidades de entrada/salida. El protocolo Profinet ofrece diferentes niveles de rendimiento y prioridad, como TCP/IP para tráfico normal, tiempo real (RT) y tiempo real isócrono (IRT). En la implementación de Profinet, se dividen los canales

de comunicación para acomodar tanto el tráfico en tiempo real como el tráfico normal [43].

2.2.11 TRANSELEVADORES

Los transelevadores conforman parte de los elementos de manutención de que se utiliza para realizar actividades como almacenamiento en alturas y a lo largo de pasillos estrechos en recintos de almacenamiento de manera automática sin la necesidad de un operario [44].

Además, brinda prestaciones importantes dentro de una empresa de manufactura o de almacén y necesita requerimientos como las siguientes.

- Es automático, no requiere operario.
- Es capaz de realizar movimiento verticales y horizontales, guiados por un carril o varios carriles.
- Necesita espacio mínimo de 1,4 y 1,65 metros de anchura para la carga de pales. El caso de los trasladar cajas las medidas pueden disminuir dependiendo del tipo de mercancía.
- Puede levantar cajas de hasta 45 m de altura.
- Soporta cajas con peso máximo de 1000 kg con una sola columna. En caso de ser de doble columna puede soportar más de 1000 kg.
- La velocidad horizontal puede estar entre 150 m/min a 300 m/min y una velocidad vertical entre 50 m/min a 100 m/min, esto dependiendo del fabricante y del producto a trasladar.
- Se emplea para almacenar y recuperar cajas de estanterías.

2.2.12 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Los programas de lenguaje utilizadas por los autómatas industriales como PLC anteriormente eran adaptados a cada fabricante, tanto así, que las empresas comenzaron a tener complicaciones con los análisis de sus sistemas industriales. Por lo tanto, se creó un estándar internacional con el fin de normalizar todo lo

relacionado que esa tecnología. Los lenguajes contemplados en el estándar IEC 61131-3 son diferentes formas de representación, tales como el diagrama de funciones secuenciales (SFC) o GRAFCET, el diagrama de bloques de funciones (FBD), el diagrama de tipo escalera o diagrama de contactos (LD o Ladder), el texto estructurado (ST) y la lista de instrucciones (IL) (Ver figura 14).

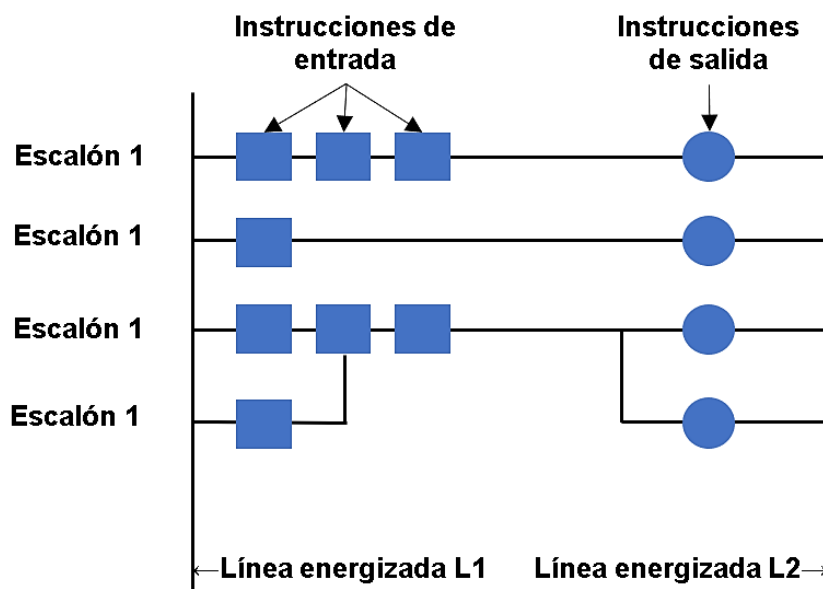


Figura 14. Descripción lógica Ladder.

Jhonatan Polanco llevó a cabo un análisis comparativo de los distintos lenguajes de programación, evaluando tanto sus ventajas como sus desventajas en términos de su aplicabilidad general. Se examinó qué tan fácil o complicado fue aprender cada uno de estos lenguajes, teniendo en cuenta las funciones comunes que comparten. A continuación, se presentan los resultados de este análisis en la siguiente tabla [45] (ver tabla 2).

Tabla 2. Comparación Lenguajes del estándar IEC 61131-3 Vs Características.

| | Bloque de función Temporizador | Bloque de función Contador | Bloque de función Especial | Problema Secuencial | Problema combinacional |
|-----|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|
| SFC | Intermedio | Complejo | Complejo | Sencillo | Sencillo |
| LD | Sencillo | Sencillo | Sencillo | Sencillo | Sencillo |
| FBD | Sencillo | Sencillo | Sencillo | Sencillo | Sencillo |
| ST | Sencillo | Sencillo | Complejo | Sencillo | Sencillo |
| IL | Sencillo | Sencillo | Complejo | Sencillo | Intermedio |

Como conclusión obtuvo que la programación en lenguajes como LD (Ladder Diagram o diagrama de contactos) y FBD (Function Block Diagram o diagrama de bloques de funciones) resulta muy fácil debido a su naturaleza gráfica. Una de las principales ventajas de estos lenguajes es que facilitan la identificación de la ubicación de las señales de entrada y salida en los bloques de funciones, como temporizadores, contadores y bloques de funciones especiales [45].

2.3 MARCO TEÓRICO

Los siguientes documentos de tesis y artículos están relacionados con la automatización de almacenes usando técnicas almacenamiento o recuperación o de ambos para mercancías, sirviendo de guía para el diseño de esta propuesta tecnológica.

“Diseño e implementación de un transelevador automático para almacenamiento de cajas controlado y monitoreado por un sistema Scada”; El trabajo presenta el diseño e implementación de un Transelevador que utiliza un PLC de la familia ALLEN BRADLEY para controlar los movimientos mecanizados. Se utiliza un sistema SCADA para monitorear los actuadores y sensores de seguridad. El proyecto beneficia a estudiantes al permitirles experimentar con la programación y configuración del PLC MICROLOGIX 1100, utilizando el programa INTOUCH para control y monitoreo [44].

“Diseño y construcción de un sistema neumático automatizado de almacenamiento/recuperación (AS/RS) mediante el reconocimiento de productos”; El tema busca desarrollar un sistema automatizado de almacenamiento y recuperación (AS/RS) utilizando códigos QR para escanear productos. El sistema utiliza un sistema neumático con actuadores para el desplazamiento en los ejes X, Y, Z. Se realiza un diseño en 3D en SolidWorks y un análisis de diseño mecánico utilizando ANSYS. El control del sistema se realiza mediante un PLC Siemens S7 1200, que activa las válvulas solenoides para permitir el flujo de aire a los pistones según sea necesario [46].

“Diseño y construcción de un prototipo de Sistema Automatizado de Almacenamiento/ Recuperación (AS/RS), para Sistemas Flexibles de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes”; En este artículo se presenta el diseño y construcción de un sistema automatizado de almacenamiento y recuperación (AS/RS) para la celda flexible de manufactura de un laboratorio. El sistema utiliza una estructura de aluminio con estanterías y un robot cartesiano de 4 ejes para manipular los artículos. El control del robot se realiza mediante una placa electrónica y una aplicación HMI desarrollada en Labview. Además, se incorpora procesamiento digital de imagen para reconocer diferentes perfiles de materia prima. Esta automatización busca superar los inconvenientes asociados al almacenamiento y despacho manual, convirtiéndolos en ventajas competitivas en el proceso de manufactura [47].

“Diseño y construcción de un prototipo a escala de un transelevador automatizado tipo AS/RS unit load para el transporte de cargas paletizadas”; El presente trabajo muestra el desarrollo y verificación de un prototipo a escala de un transelevador AS/RS diseñado para el transporte de cargas paletizadas. Se empleó el software SolidWorks para el diseño estructural y se realizaron simulaciones estáticas y dinámicas utilizando ANSYS. Los circuitos de acoplamiento de señales y las conexiones eléctricas fueron desarrollados siguiendo los requerimientos de los controladores y las medidas de protección necesarias. Se determinaron los requisitos mínimos de los actuadores para asegurar movimientos estables. La programación del PLC S7 1200 CPU 1215 DC/DC/DC se llevó a cabo en TiaPortal V15, y se creó un HMI para el control manual y automático. Además, se proporcionó un manual de usuario que describe en detalle los modos y funciones de la interfaz [48].

CAPÍTULO 3

3.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

En esta sección se detallan los componentes físicos, componentes lógicos y los diseños correspondientes del desarrollo de la propuesta. Se proporcionará una descripción de los componentes físicos, que incluyen equipos, dispositivos y materiales utilizados en la implementación. De la misma forma, se abordarán los componentes lógicos, como el software, los algoritmos y los protocolos utilizados para el funcionamiento del sistema.

3.1.1 COMPONENTES FÍSICOS

En esta sección se detallan los elementos físicos, elementos lógicos y los diseños correspondientes del desarrollo de la propuesta. Se proporcionará una descripción de los componentes físicos. Asimismo, se abordarán los componentes lógicos, como el software, los algoritmos y los protocolos utilizados para el funcionamiento del sistema. Además, los diseños elaborados, tanto a nivel conceptual como detallado.

3.1.1.1 PROTECCIONES

RELES TERMICOS

Los relés térmicos son dispositivos de protección utilizados en redes eléctricas de alta capacidad para salvaguardar los equipos de la red industrial. Su funcionamiento se basa en la monitorización de la corriente en el circuito, activando una placa expansible que provoca el salto del relé y la desconexión del circuito en caso de detectar una variación de corriente anormal. Además, se utilizan en entornos residenciales para proteger cables de altas temperaturas. Es importante destacar que, debido a su activación por temperatura, su tiempo de respuesta es más prolongado que el de un disyuntor (Ver figura 15).



Figura 15. Relé Térmico.

DISYUNTORES

Los disyuntores son dispositivos que brindan protección contra fallos eléctricos, especialmente cortocircuitos y fugas eléctricas. Estos dispositivos emplean mecanismos electromagnéticos que se activan al detectar cualquiera de estos fallos mencionados. Su uso es más común en entornos industriales, ya que son capaces de soportar corrientes más altas y brindar una mejor protección a circuitos de mayor capacidad, como los que alimentan equipos de alta potencia (Ver figura 16).



Figura 16. Disyuntor.

GUARDAMOTOR

El guardamotor es un componente esencial para la protección de motores en sistemas eléctricos. Su principal función es iniciar y detener los motores de forma manual o automática, y se activa automáticamente cuando detecta corrientes anormales, evitando así daños en los motores. Además de su función de protección

contra sobrecargas, el guardamotor también ofrece otras características, como la protección contra desequilibrios de corriente y la prevención de arranques y paradas frecuentes del motor. Al incluir un guardamotor en un tablero eléctrico, se elimina la necesidad de utilizar interruptores y relés térmicos adicionales (Ver figura 17).



Figura 17. Guardamotor.

INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

Los interruptores automáticos protegen a los circuitos e instalaciones de corrientes altas, que se generan normalmente en sobre cargas o cortocircuitos. Su función es la de actuar cuando detecta fallas cortando el suministro eléctrico de la instalación y volviendo activar la conexión después de solucionar la falla. Para el uso de este componente en la industria debe cumplir con los requerimientos de las normas IEC (Ver figura 18).



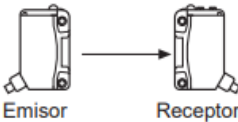

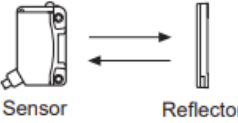
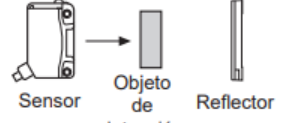
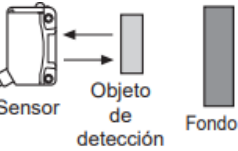
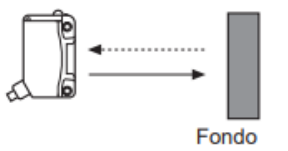
Figura 18. Interruptores automáticos.

3.1.1.2 SENSORES – ENTRADAS.

SENSOR RETROREFLECTIVO

Los sensores retro reflectivos son dispositivos que se emplean para la detección de objetos o personas. Su funcionamiento se basa en un haz de luz que se refleja en un reflector colocado frente al sensor. Cuando un objeto o persona interrumpe el haz de luz reflejado, el sensor detecta el cambio y envía una señal al controlador correspondiente. Estos sensores son comúnmente utilizados en sistemas de automatización, control de acceso y detección de objetos en aplicaciones como bandas transportadoras.

Tabla 3. Tipos de sensores retro reflectivos.

| | “Estado Light ON” | “Estado Light OFF” |
|------------------------------------|---|--|
| Barrera |  |  |
| Retro-reflectivo polarizado |  |  |
| Difuso Reflectivo |  |  |

ENCODERS INCREMENTALES

Los encoders son componentes utilizados en combinación con motores para supervisar y controlar aspectos clave de su funcionamiento, como la velocidad, la dirección y los pasos. Estos dispositivos constan de una lámina circular en la que se encuentran impresas una serie de líneas, cuya lectura proporciona la información necesaria para determinar los parámetros mencionados (Ver figura 19).

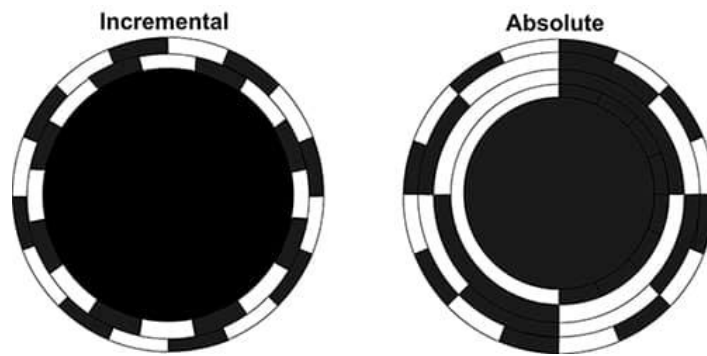


Figura 19. Lámina de un encoder incremental y absoluto.

En el sistema del encoder, se dispone una lámina en posición intermedia entre un emisor y un receptor de luz LED. Normalmente, el receptor recibe una señal de valor 1 proveniente del emisor. No obstante, cuando la lámina obstruye la luz debido a su estructura, el encoder envía una señal de valor cero. De esta manera, el dispositivo convierte el movimiento mecánico en datos digitales, los cuales pueden ser interpretados y utilizados por un controlador o sistema de control (Ver figura 20).



Figura 20. Encoders.

Los encoders tienen aplicaciones adaptables en diversos sistemas, como el control de motores, sistemas de posicionamiento, maquinaria industrial y robótica, entre otros. Un uso menos conocido es en las bandas transportadoras, donde se pueden emplear para determinar la distancia entre productos, programar patrones y detectar la presencia o ausencia de un producto en la banda para emitir una alarma.





3.1.1.3 CONTROLADOR – VARIADOR

En este proyecto, es fundamental utilizar un controlador y un variador, ya que se requiere un control automático que permita leer señales de sensores o pulsadores para tomar acciones instantáneas. El PLC se presenta como la opción ideal debido a su capacidad de respuesta rápida. Además, el variador es un componente esencial, ya que permite regular la velocidad del motor, cambiar el sentido de giro y adaptarlo a tareas específicas, como el funcionamiento de una banda transportadora o un transelevador.

PLC S7-1200

La empresa alemana Siemens es reconocida por su liderazgo en electrónica e ingeniería eléctrica, especialmente en el sector de automatización industrial. Ofrece una amplia gama de productos de control, como los PLC, que se adaptan a diferentes proyectos. En este estudio se compararon cuatro modelos, evaluando sus características técnicas.

Tabla 4. Tabla comparativa de PLC's Siemens.

| PLC | | | | |
|--------------------------------|---|---|--|---|
| Modelos | S7-1200 | S7-1500 | S7-200 | S7-300 |
| |  |  |  |  |
| Peso | 425g | 2.1 Kg | 310g | 680g |
| Dimensiones | 90x100x75 mm | 36x24x12 cm | 90x80x62 mm | 120x125x130 mm |
| Memoria | 2MB | 1MB | 8MB | 8MB |
| Voltaje de alimentación | 120 – 240 VAC | 120 – 240 VAC | 120 – 240 VAC | 120 – 240 VAC |
| Entradas analógicas | 2 | 5 | 24 | 1 |
| Entradas digitales | 8 | 32 | 24 | 14 |
| Salidas digitales | 6 | 32 | 16 | 16 |

Se eligió el PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY modelo 6ES7212-1BE40-0XB0 por su flexibilidad y modularidad, permitiendo la integración de diferentes módulos según las necesidades. Su capacidad de integración con periféricos, diseño compacto y configuración sencilla lo hacen adecuado para adaptarse a entornos industriales y proyectos simples o complejos (Ver figura 21).



Figura 21. PLC Siemens AC/DC/relay.

MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS

El módulo MODBUS es un dispositivo adicional que se utiliza junto al PLC este sirve para lograr una comunicación tipo MODBUS entre los dispositivos mediante interfaz RS-485 o RS422, estableciendo una comunicación maestro esclavo (RTU) o cliente-servidor (TCP/IP) (ver figura 22).



Figura 22. Módulo MODBUS RS422/485.

Tabla 5. Características técnicas del módulo.

| CARATERISTICAS TECNICAS | |
|--------------------------------|-------------------|
| Modelo | CM 1241RS 422/485 |
| Peso | 190g |
| Dimensiones | 30X100X75 mm |
| Alimentación Max (V) | 24 V |
| Alimentación Min (V) | 20.4 V |
| Corriente de entrada | 220 mA |
| Número de interfaces | 1 |
| Interfaz física | RS 422/485 |
| Longitud máxima de cable | 1000m |
| Protocolo de comunicación | ACII/MODBUS/RTU |

MODULO DE SALIDAS DIGITALES SM1222

Este componente de Siemens amplía las salidas digitales del controlador lógico programable (PLC) en el proyecto del modelo S7-1200. En particular, posibilita la expansión de ocho salidas digitales, lo que permite el control de dispositivos adicionales o la conexión de elementos con múltiples señales, como en el caso del transelevador que requiere cinco señales para su control. Este módulo proporciona una extensión funcional al sistema, mejorando la capacidad de manejar dispositivos y situaciones que demandan un mayor número de salidas digitales (ver figura 23).



Figura 23. Módulo de salidas digitales SM1222.

Tabla 6. Datos técnicos del módulo de salidas digitales.

| CARATERISTICAS TECNICAS | |
|--------------------------------|--------------|
| Modelo | SM 1222 RLY |
| Peso | 190g |
| Dimensiones | 45X100X75 mm |
| Alimentación Max (V) | 28.8 V |
| Alimentación Min (V) | 20.4 V |
| Corriente de entrada | 140 mA |
| Número de salidas digitales | 8 |
| Voltaje de salida | 24 V |
| Corriente de salida | 0.5 A |

MODULO DE ENTRADAS DIGITALES SM1221

En la implementación del proyecto, es fundamental incorporar un módulo de entradas digitales, especialmente para señales como pulsadores, que son cruciales en el control del sistema dentro de una empresa. Para esta aplicación, se ha seleccionado el módulo SM1221, modelo 6ES7221-1BF32-0XB0 de la marca Siemens, el cual es compatible con el controlador S7-1200. Este módulo posibilita la expansión de las entradas digitales en ocho, proporcionando una mayor flexibilidad y capacidad de control al sistema (ver figura 24).



Figura 24. Módulo de entradas digitales SM 1221

Tabla 7. Datos técnicos del módulo SM 1221




| CARATERISTICAS TECNICAS | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Modelo | SM 1221 |
| Peso | 170g |
| Dimensiones | 45X100X75 mm |
| Alimentación Max (V) | 28.8 V |
| Alimentación Min (V) | 20.4 V |
| Corriente de entrada | 105 mA |
| Número de entradas digitales | 8 |
| Voltaje de entrada | 24 V (“0” /5V – “1” /14V) |
| Intensidad de entrada | “0” /1 mA – “1” / (2.5-4) mA |

VARIADOR DE FRECUENCIA

Los variadores de frecuencia, también conocidos como variadores de velocidad o inversores de frecuencia, son dispositivos electrónicos esenciales en la industria. Su principal función es controlar la velocidad de los motores eléctricos de manera precisa y eficiente. Están compuestos por varios componentes clave, como un sistema de rectificación para eliminar el ruido y rectificar la señal alterna, un filtro para reducir el rizado de la señal, un circuito inversor que utiliza transistores IGBT de conmutación rápida y un circuito de control que conmuta los transistores para obtener la frecuencia deseada en la salida. Los variadores de frecuencia se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales, como sistemas de bombeo, ventilación, transportadores y maquinaria industrial. Además de controlar la velocidad, también proporcionan funciones de protección y monitoreo para mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil del motor. Su capacidad para ajustar la velocidad de manera precisa y eficiente brinda flexibilidad y eficiencia energética a los sistemas industriales.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de diferentes variadores de frecuencia.

Tabla 8. Tabla comparativa variadores de frecuencia.

| Modelos | Variadores | | |
|---|---|--|---|
| | VFD Delta | SINAMICS G120C | SINAMICS G120 |
| |  |  |  |
| Grado de protección | IP20 | IP20 | IP20 |
| Tensión de red | 3AC 230 a 460 V | 3AC 380 a 480 V | 1AC 200 a 240 V 3AC 200 a 240 V 3AC 400 a 480 V |
| HP | 7.5 a 10HP | 0.50 a 0.75 HP | 0.50 a 0.75 HP |
| Factor Potencia λ | >0.98 | 0.70 a 0.85 | 0.90 |
| Eficiencia | 0.98 | 0.97 | 0.93 |

Se eligió el variador Delta VFD debido a que cumple con los parámetros de los motores que utilizan en el sistema.

3.1.1.4 MOTOR TRIFÁSICO

Un motor trifásico es esencial en sistemas de almacenamiento en estanterías con transelevadores y cintas transportadoras. Estos motores proporcionan la potencia necesaria para el funcionamiento de los transelevadores, que son vehículos automatizados utilizados para mover las mercancías entre las estanterías. Además, los motores trifásicos impulsan las cintas transportadoras, que son utilizadas para el desplazamiento de los productos a lo largo del sistema de almacenamiento. La eficiencia y la capacidad de generar una alta potencia de los motores trifásicos los convierten en la opción ideal para estas aplicaciones, permitiendo un movimiento suave y eficiente de las mercancías en el almacén (ver figura 25).







Figura 25. Motor Trifásico.

3.1.1.5 PANTALLA HMI DELTA

El sistema de almacenamiento requiera de una visualización en tiempo de real de los datos que se manejan en planta para es necesario una pantalla HMI, además de visualizar los datos esta pantalla permite controlar los diferentes equipos del sistema. Para elegir que dispositivo se realizó una tabla comparativa entre 3 modelos diferentes analizando sus características.

Tabla 9. Tabla comparativa de pantallas HMI. Tomado del Datasheet.

| PANTALLA HMI | | | | |
|-----------------------|--|---|--|---|
| Marcas | Delta | Weintek | Omron | Siemens |
| Modelos |  DOP-B03E211 |  MT807iE1 |  NB3Q |  6AV6643-0CD01-1AX2 |
| Peso | 264 kg | 600g | 310 kg | 2.65 kg |
| Dimensiones | 129x103x39 mm | 200.3x146.3x34 mm | 103.8x129.8x52.8 mm | 335x275x61 mm |
| Tamaño de Display | 4.3" | 7" | 3.5" | 10" |
| Resolución de Display | 480x272 | 800x480 | 320x240 | 640x480 |
| Memoria interna | 128 MB | 128 MB | 128 MB | 128 MB |
| USB Client | USB Client V2.0 | N/A | USB Client V2.0 | USB Client V2.0 |
| USB Host | USB Host V1.1 | USB Host V2.0 | USB Host V2.0 | USB Host V3.0 |

| | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|---|--------------------|--------------------------------|
| COM Port | COM1 = RS232/RS485 5 | COM1 = RS232 COM2 = RS485 2W/4W COM3 = RS485 2W | COM1 = RS232/RS485 | COM1 = RS485/RS422/1X/IF 1B |
| Voltaje de alimentación | 24 V DC | 24 V DC | 24 V DC | 24 V DC |
| Consumo de energía | 2.64 W | 5 W | 2 – 4 W | 16 W |
| Temperatura de funcionamiento | -20 ~ 60° | -20 ~ 60° | -20 ~ 60° | -20 ~ 60° |
| Humedad de funcionamiento | 10~90% RH | 10~90% RH | 10~90% RH | 10~90% RH |


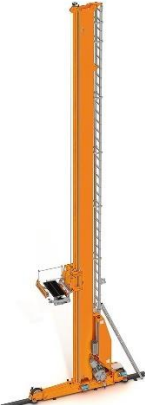

Se elige la pantalla Delta modelo DOP-B03E211 para el sistema automatizado de almacenamiento y recuperación de cajas. Esta pantalla se programa a través del software DOPSoft y se comunica mediante Ethernet con el PLC S7-1200. Su función principal es monitorear localmente los procesos llevados a cabo en la planta y mostrar los datos obtenidos de manera visual.

3.1.1.6 TRANSELEVADOR

El transelevador desempeña la función de desplazar los pallets con cajas desde la banda transportadora hacia las estanterías y viceversa, garantizando la integridad de los productos y la seguridad de los operarios. Existen diversas configuraciones disponibles para mejorar la capacidad, velocidad y seguridad del proceso de almacenamiento. Se puede seleccionar entre diferentes modelos de transelevadores y aprovechar varias opciones de distribución en la zona de Picking y manipulación. Los almacenes automatizados con transelevadores optimizan las operaciones de colocación y extracción de la carga al transportar directamente el producto al operador, lo cual agiliza el proceso.

A continuación, se presenta una tabla de comparación de los transelevadores, la cual se ha elaborado utilizando información recopilada de la empresa Mecalux, reconocida por su distribución de sistemas de este tipo. La tabla ofrece una visión comparativa de las características y especificaciones de los transelevadores disponibles en el mercado.

Tabla 10. Tabla comparativa de transelevadores Mecalux.

| Tipo | Transelevadores | | |
|--------------------------------|---|--|---|
| | Monocolumna ML50 | Monocolumna ML100 | Bicolumna |
| |  |  |  |
| Carga | 1Caja – 50 Kg | 2Cajas – 50 Kg | 4Cajas – 50 Kg |
| Altura | 9m | 12m | 20m |
| Tipo de caja | Eurobox 600x400 mm | Eurobox 600x400 mm 800x600 mm | Eurobox 600x400 mm 800x600 mm |
| Velocidad de traslación | 180 m/min | 200 m/min | 250 m/min |
| Velocidad de elevación | 100 m/min | 90 m/min | 90 m/min |

3.1.1.7 CINTA TRANSPORTADORA.

Para hacer uso de una cinta transportadora hay que tener varios conceptos claros ya que existen de varios tipos, como los transportadores de rodillos como se observa en la imagen este diseño sirve más para trasportar pallets con cajas y soportan más peso, existen transportadores de banda también que este se diferencia por que fue diseñado para soportar alta temperaturas y tiene una larga vida útil. Según Mecalux empresa intralogística un transportador de rodillos puede soportar cargas de hasta 1500 Kg por palet y hasta 500 Kg por medio palet y mediante arreglos estructurales pueden soportar filas de palets de manera consecutiva a su capacidad máxima [49] (ver figura 26).



Figura 26. Transportador de rodillos.

3.1.1.8 PULSADORES

Los pulsadores son dispositivos de entrada utilizados en sistemas eléctricos y electrónicos para enviar señales de control. Consisten en interruptores momentáneos que se activan al presionarlos y se desactivan al soltarlos. Su función principal es iniciar o detener una acción específica en un circuito, como encender o apagar un motor, activar una alarma o cambiar el estado de un sistema. Los pulsadores se utilizan ampliamente en la industria, domótica y otros campos donde se requiere interacción humana para controlar dispositivos y sistemas.

En el ámbito industrial, se utilizan tres tipos de pulsadores. El pulsador NO (normalmente abierto) se encuentra en reposo, pero se cierra al presionarlo, activando una acción específica. Por otro lado, el pulsador NC (normalmente cerrado) se encuentra cerrado en reposo y se abre al presionarlo, interrumpiendo una señal o circuito. Por último, están los pulsadores de emergencia, que son pulsadores NC que se mantienen activados hasta que se resuelve el problema y un operador los vuelve a su estado normal. Estos pulsadores, comúnmente conocidos como pulsadores seta, se utilizan para detener rápidamente una operación en caso de emergencia (ver figura 27).



Figura 27. Pulsadores NO, NC, Emergencia.

3.1.1.9 LUCES PILOTO

Estas luces pilotos son de gran ayuda ya que permite verificar el funcionamiento de un proceso o la lectura de una señal, por lo general estos dispositivos se los ubicó en la puerta de los tableros de control, sus colores son los que permite visualizar si un sistema se encuentra en marcha o parado, el color verde indica que está en marcha. el rojo en stop o emergencia dependiendo del diseño en ocasiones también se usa el color naranja en intermitencia para indicar que el sistema se encuentra atascado (ver figura 28).



Figura 28. Luz piloto color verde.

3.1.1.10 CONTACTORES

El contactor Siemens es un dispositivo electromecánico utilizado para controlar y conmutar circuitos eléctricos de potencia. Funciona mediante un electroimán que acciona un juego de contactos principales, permitiendo el paso de corriente a través del circuito cuando el contactor está cerrado. Se utiliza ampliamente en sistemas de control de motores, sistemas de iluminación, sistemas de calefacción y aire acondicionado, entre otros (ver figura 29).

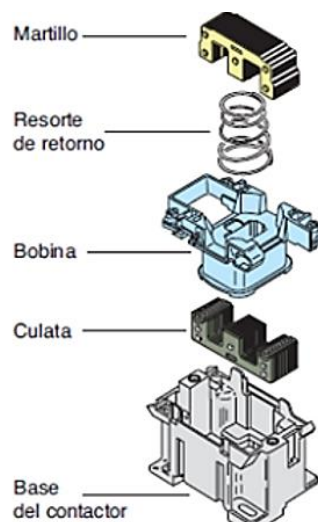


Figura 29. Partes de un contactor.

El contactor es un componente electromecánico que combina elementos mecánicos y eléctricos. Su funcionamiento se basa en el accionamiento de una bobina que, al recibir energía eléctrica, activa los contactos del contactor, ya sean normalmente cerrados (NC) o normalmente abiertos (NO), permitiendo el paso o la interrupción de la corriente eléctrica. De esta manera, el contactor se utiliza para controlar y conmutar circuitos eléctricos de potencia, siendo ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales (ver figura 30).



Figura 30. Contactor.

3.1.1.11 Elementos de planta final

Estanterías

En un contexto de almacenamiento, las estanterías juegan un papel fundamental al proporcionar espacio para almacenar los productos. Estas estructuras, construidas con acero, se adaptan a las necesidades específicas de cada carga. Existen diversos tipos de estanterías industriales, diseñadas para almacenar diferentes tipos de mercancías, ya sean cajas o paletas. La elección de la estantería adecuada depende del tipo de carga a almacenar. A continuación, se detallan los principales tipos de estanterías industriales que ofrecen soluciones de almacenamiento versátiles y eficientes [50].

Estanterías industriales convencionales

Las estanterías convencionales ofrecen la ventaja de permitir un acceso individual a cada uno de los productos almacenados, lo que facilita el control de inventario en

comparación con otros sistemas. Su diseño versátil permite el almacenamiento de cargas de diferentes tamaños, y se pueden combinar con estanterías de Picking manual para mayor eficiencia. En el caso de almacenar paletas, se pueden utilizar estanterías de doble fondo, que permiten colocar una paleta delante de otra a ambos lados del pasillo, aumentando la capacidad de almacenamiento [51] (ver figura 31).

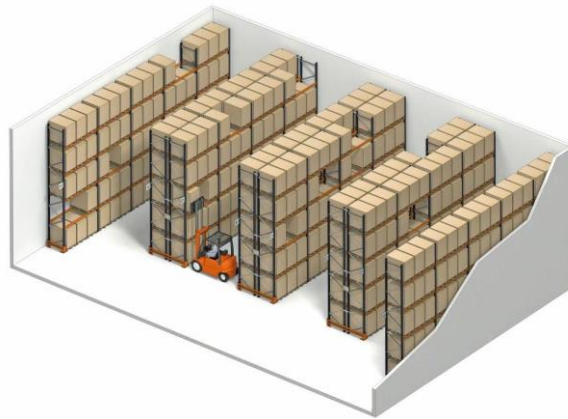


Figura 31. Estanterías convencionales de doble fondo.

Estanterías compactas

Las estanterías de almacenamiento por acumulación permiten aprovechar al máximo el espacio disponible tanto en superficie como en altura. Este sistema de almacenamiento por compactación se compone de estanterías que forman calles interiores de carga, con carriles de apoyo para las paletas. Las carretillas ingresan a estas calles interiores con la carga elevada por encima del nivel en el que será depositada, permitiendo una eficiente utilización del espacio de almacenamiento. [52].



Figura 32. Estantería compacta.

Estantería dinámica

Este tipo de estantería se emplea para el almacenamiento de productos perecederos en industrias como la distribución de alimentos, farmacéuticos, químicos, entre otros. Estas estanterías cuentan con caminos de rodillos inclinados que permiten que las paletas se deslicen por gravedad y a una velocidad controlada hasta el extremo opuesto. Esto facilita una rotación eficiente de las paletas siguiendo el principio FIFO (First in - First out), ahorra espacio y tiempo en la manipulación de las paletas, evita la interferencia en la preparación de pedidos y permite un control sencillo de los stocks [49] (ver figura 33).

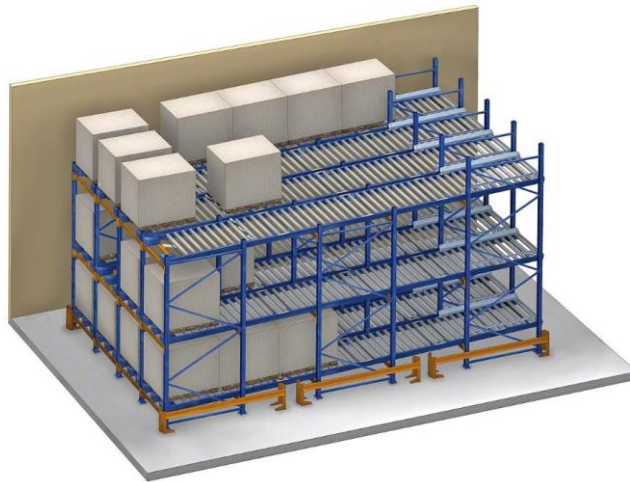


Figura 33. Estanterías dinámicas.

La elección óptima para este proyecto es la estantería convencional, ya que se trata de un sistema de almacenamiento versátil que permite una mayor altura, lo cual es fundamental para la integración de un transelevador de mayor alcance. Además, este tipo de estantería es capaz de almacenar diversos tipos de carga, ya que se adapta a pallets que pueden contener una amplia variedad de productos.

PALLETS

Los pallets o paletas son plataformas planas, mayormente hechas de madera, metal, plástico o combinación de estos materiales. Estas estructuras permiten un manejo y almacenamiento óptimos de mercancías al agrupar cajas en un conjunto único, facilitando su manipulación, transporte y almacenaje. Diseñados para ser elevados

y transportados por diferentes equipos como montacargas, carretillas, transpaletas y transelevadores, los pallets agilizan la carga y descarga en camiones, contenedores y almacenes. Tiene varias ventajas como:

- Manipulación eficiente: permite agrupar cajas en unidades más grandes y fáciles de manejar.
- Protección del producto: Al momento de levantar los productos del suelo, los protegen del polvo, humedad y posibles daños por golpes.
- Ahorro de espacio: Al agrupar, permite aprovechar mejor los espacios en los almacenes, camiones y contenedores.
- Seguridad: Facilitan el transporte seguro y reducen el riesgo de lesiones al cargar y descargar mercancías.
- Control de inventario: Facilitan el conteo y seguimiento del inventario, ya que se pueden etiquetar o identificar fácilmente.

Existen diferentes tipos, los más usuales son:

Euro-paletas

De 800 x 1.200 mm manipuladas por el lado más estrecho. Con el mismo criterio constructivo se fabrican de 1.000 x 1.200 y de 1.200 x 1.200 mm. A modo de apoyo llevan incorporados nueve tacos y tres patines en su parte inferior.

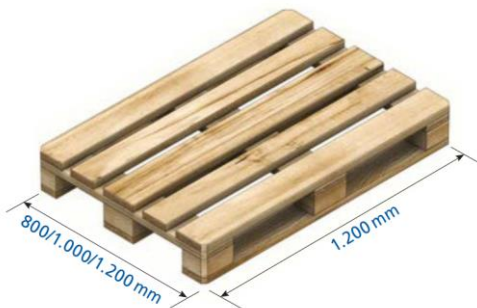


Figura 34. Euro paleta.

Perimetrales

Son construidos de forma similar a las euro-paletas, poseen dos patines en la parte inferior unidos entre sí a los otros tres.

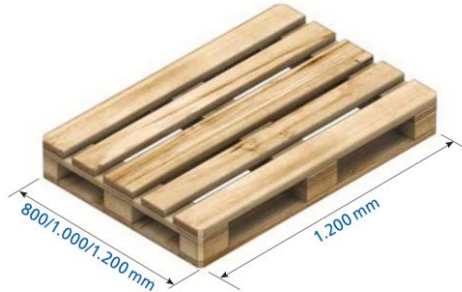


Figura 35. Paleta Perimetral.

3.1.2 COMPONENTES LÓGICOS

A continuación, se detallan los diferentes softwares de diseño, programación, comunicación, configuración y control que se usaron para el desarrollo del sistema de almacenamiento y recuperación de cajas.

3.1.2.1 TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL V.16

El software TIA PORTAL V16 (ver figura 36), acrónimo de Totally Integrated Automation Portal, es una plataforma de software desarrollada por Siemens para la programación y configuración de sus sistemas de automatización industrial. Proporciona un entorno de desarrollo integrado y unificado que abarca desde la configuración del hardware hasta la programación de los controladores lógicos programables (PLC), los sistemas de visualización y otros dispositivos de automatización. TIA Portal ofrece herramientas avanzadas de programación, simulación y diagnóstico, lo que facilita la implementación de soluciones de automatización eficientes y de alto rendimiento. Permite una configuración intuitiva, mayor productividad y una gestión centralizada de proyectos, lo que lo convierte en una herramienta esencial para los ingenieros de control y automatización industrial.



Figura 36. Software TIA PORTAL V16 para programación de PLC.

3.1.2.2 EPLAN

EPLAN, una herramienta de diseño ingenieril que agiliza la elaboración de esquemas eléctricos. Su funcionalidad abarca una base de datos para extraer datos técnicos de componentes, macros para diseño 3D de tableros y la generación de informes detallados, como listas de materiales y datos específicos de PLC. En un proyecto específico, EPLAN se empleó para diseñar un panel de control que alberga controladores, módulos y protecciones correspondientes. Este software no solo facilita la planificación eléctrica, sino que también ofrece capacidades avanzadas para la gestión integral de proyectos de ingeniería eléctrica y automatización (ver figura 37).



Figura 37. Software ePLAN.

3.1.2.3 Sketchup 2023

Se trata de un software de diseño 3D utilizado para la creación flexible de infraestructuras. Este software resultó útil para la elaboración del diseño de planta del sistema de almacenamiento automático, así como de sus componentes como el transelevador, las estanterías y los transportadores de rodillos. Además, resultó práctico al ofrecer una visión general de la distribución de los espacios dentro de la planta (ver figura 38).



Figura 38. Software SketchUp 2023 para diseño 3D.

3.1.2.4 Ignition Designer - Inductive Automation

Ignition designer es una parte integral del sistema de software Ignition desarrollado por Inductive Automation. Ignition es una plataforma de software utilizada en la automatización industrial y el control de procesos. Ignition designer es la herramienta enfocada en el desarrollo de los proyectos dentro de la plataforma Ignition (ver figura 39).

En Ignition designer se puede realizar el diseño de las interfaces graficas del SCADA, HMI inclusive de una plataforma web que puede verse desde un móvil, permite diseñar interfaces de usuario, configurar lógica de control, conectar dispositivos y bases de datos, y personalizar la funcionalidad del sistema.

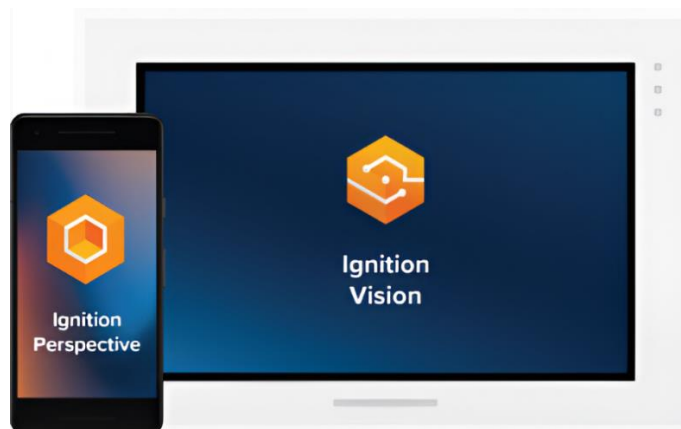


Figura 39. Ignition.

3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA

3.2.1 DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

En este proyecto, el énfasis se centra principalmente en la automatización del almacenamiento de cajas. Por lo tanto, no se profundiza en el diseño detallado de la distribución de la planta. En su lugar, se realiza un esquema superficial que ilustra la disposición general de las diferentes estaciones dentro de un almacén físico. Este enfoque permite una visualización básica de la disposición espacial de las estaciones sin adentrarse en detalles de diseño más complejos.

El proyecto se centra en diseñar un sistema automático de almacenamiento y recuperación de cajas, utilizando el software SketchUp 2023 para crear una representación tridimensional de la infraestructura requerida. Esta herramienta permite visualizar la distribución de espacios, incluyendo estanterías, transelevadores y transportadores de rodillos, diseñados específicamente para el sistema. El uso de SketchUp facilita la creación de modelos precisos, lo que permite evaluar la viabilidad del sistema antes de su implementación. Esta metodología de diseño se alinea con los principios de la Industria 4.0, impulsando la optimización de procesos en entornos industriales modernos.

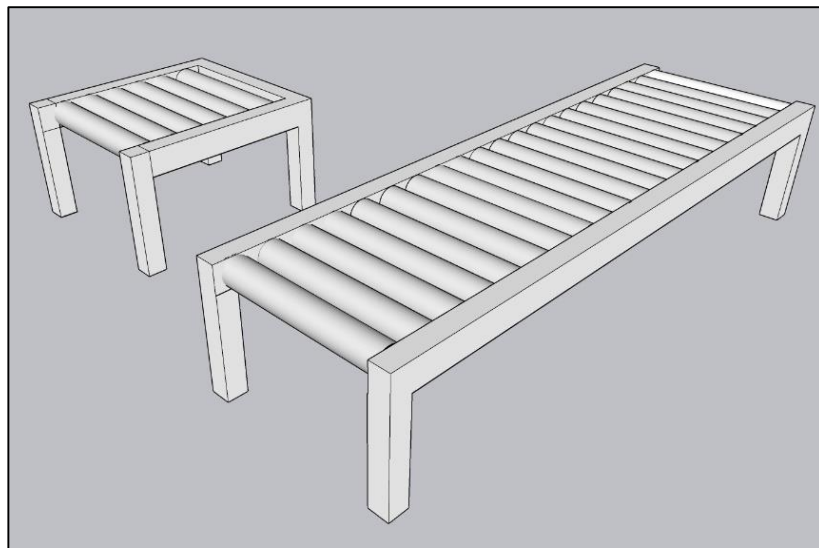


Figura 40. Diseño de transportadores de rodillos elaborado por autor.

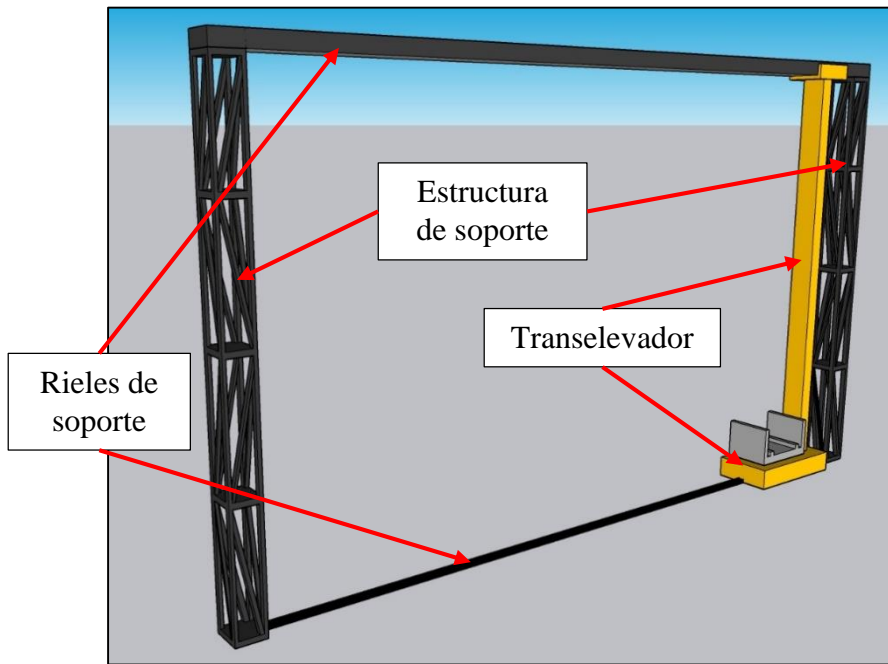


Figura 41. Diseño de transelevador elaborado por autor.

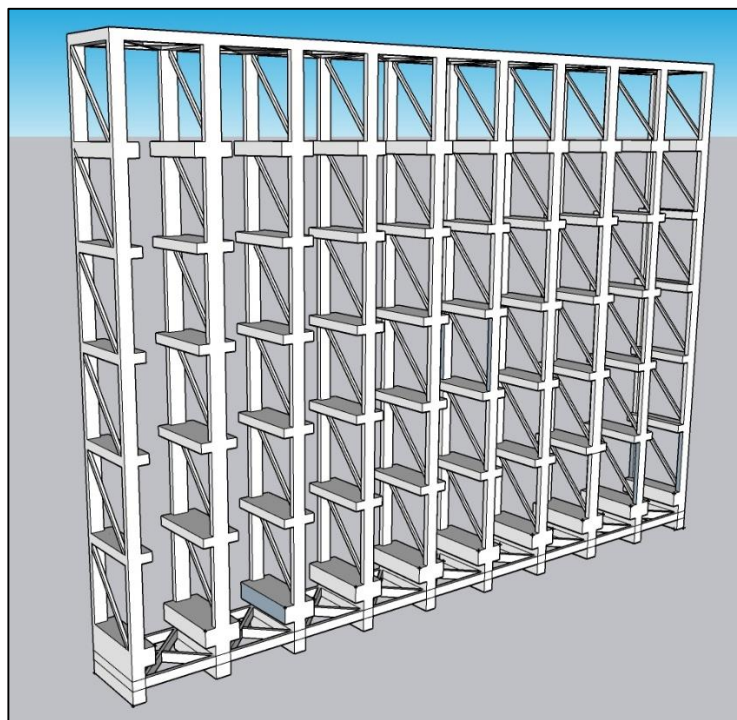


Figura 42. Diseño de estantería elaborado por autor.

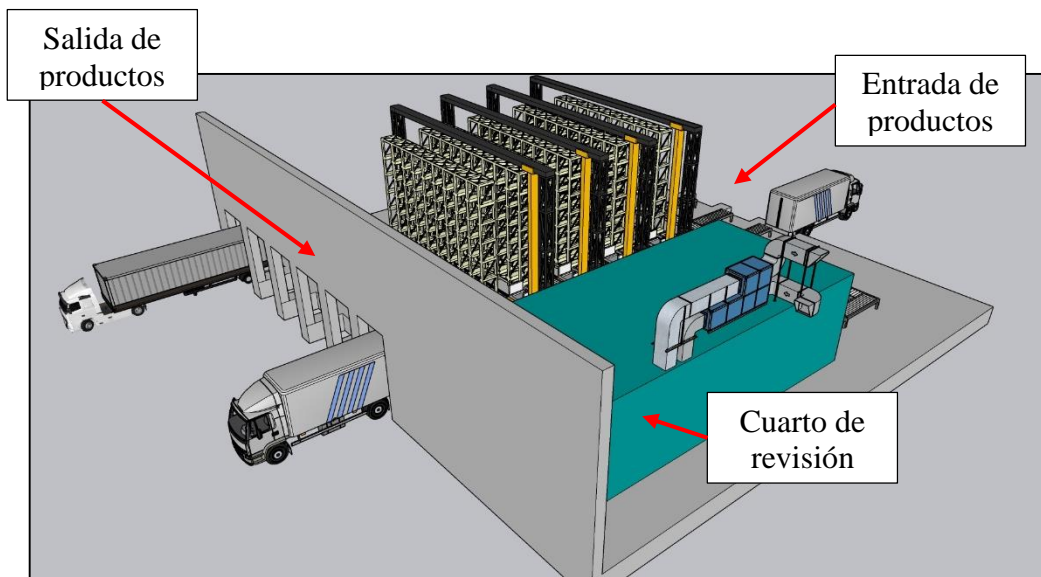


Figura 43. Vista Isotrópica de la Planta.

La planta, con dimensiones rectangulares, dispone de 6 entradas y 6 salidas ubicadas estratégicamente en lados opuestos. Esta distribución se ha planificado para asegurar un flujo eficiente de los productos a través de la instalación. Al contar con un número equitativo de entradas y salidas, se facilita el control y la gestión de la logística, permitiendo un manejo eficaz tanto de la entrada como de la salida de productos (ver figura 43).

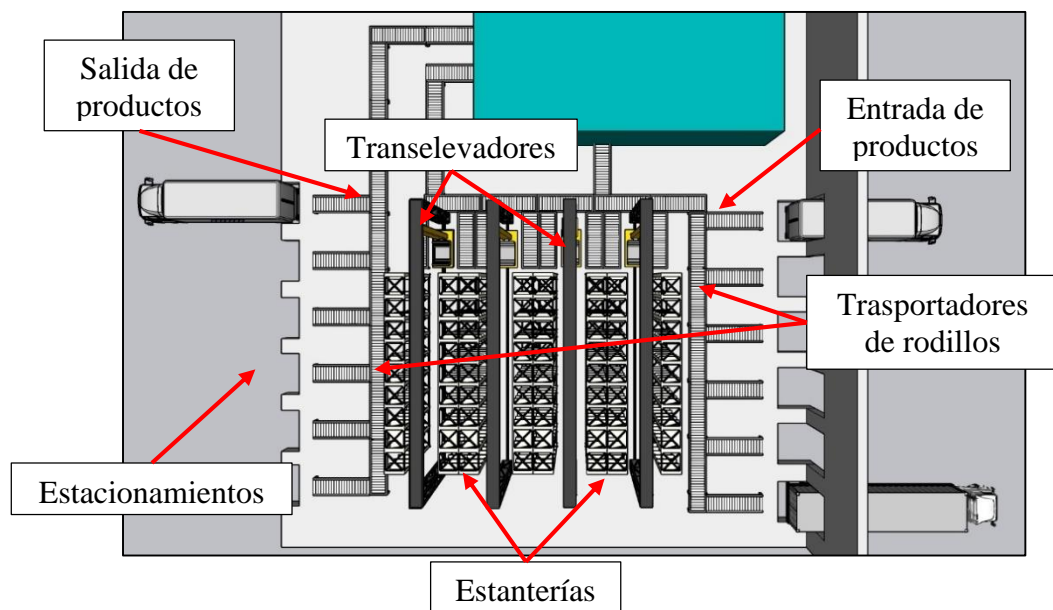


Figura 44. Vista interna de la planta.

La planta fue diseñada considerando que los productos entrantes serían directamente almacenados después de haber pasado por procesos de paletización y etiquetado. Estos productos se almacenan en las estanterías según la configuración establecida por la empresa, como se ilustra en la figura (Ver figura 44).

Los productos ingresan desde el lado derecho de la planta y son transportados hacia las estanterías. La recuperación de los productos se lleva a cabo mediante transportadores de rodillos hacia el lado izquierdo, donde el personal realiza una verificación de datos en el cuarto de control, representado por la estructura celeste. Si el producto recuperado no es el deseado, se devuelve a las estanterías utilizando un transportador auxiliar, evitando así la necesidad de regresar otros productos. Una vez verificados los datos, los productos son enviados a los transportadores de rodillos del lado derecho, donde un camión de carga los espera para llevarlos al destino final.

3.2.2 DISEÑO DE PANEL ELÉCTRICO DEL SISTEMA

En el proceso de diseñar el tablero eléctrico, es esencial considerar varios parámetros previos al diseño. Inicialmente, se deben llevar a cabo cálculos para determinar las protecciones eléctricas necesarias para distintos sistemas, tales como la alimentación del controlador junto con sus módulos correspondientes, la fuente de poder, el variador de frecuencia y los motores.

Es crucial resaltar la necesidad de seguir las normativas pertinentes en la elaboración de paneles eléctricos, específicamente aquellas que rigen en América Latina, como la IEC 61439-1 y 2. Este enfoque asegura no solo el rendimiento óptimo del tablero, sino también el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad establecidos para la región[53].

3.2.2.1 Cálculos de fuente de alimentación para componentes.

En este proyecto, se considera un PLC S7-1200, un módulo de comunicación Modbus, un módulo de entradas digitales y un módulo de salidas digitales. Es crucial determinar si la fuente interna del PLC puede alimentar todos los módulos y

sensores del sistema; de lo contrario, será necesario encontrar una fuente de alimentación externa que cumpla con los requisitos establecidos. Este enfoque garantiza un suministro eléctrico adecuado y evita posibles complicaciones en el funcionamiento del sistema.

Tabla 11. Consumo de componentes.

| Modelo del dispositivo | Cantidad Módulos | Entradas | Salidas | Corriente (mA) | Corriente(mA) a 24V DC |
|------------------------|------------------|----------|---------|----------------|------------------------|
| CPU 1212C | 1 | 8 | 6 | 4mA/11mA | 32mA+66mA |
| CM 1241 | 1 | | 1 | 220mA | 220mA |
| SM 1222 | 1 | | 8 | 11mA | 88mA |
| SM 1221 | 1 | 2 | | 4mA | 8mA |
| Sensor Medición | 2 | | | 150mA | 300mA |
| Sensor Fotoeléctrico | 2 | | | 25mA | 50mA |
| Sensor Capacitivo | 1 | | | 3mA | 3mA |
| Sensor Inductivo | 2 | | | 12mA | 24mA |
| Encoders | 2 | | | 20mA | 40mA |
| Consumo Total | | | | | ~ 831 mA |

Después de revisar los datasheets de cada componente, módulo y sensor utilizados en el sistema, se determinó la necesidad de una fuente de alimentación que suministre una corriente mínima de 831mA a 24VDC. Por lo tanto, es esencial contar con una fuente de alimentación externa, ya que la fuente interna del S7-1200 (400mA) no es suficiente para alimentar estos componentes. Después de explorar los catálogos de varios fabricantes, se identificó una fuente de la marca Siemens con una capacidad de 2,5 Amperios, adecuada para alimentar los componentes y proporcionando margen para conectar elementos adicionales al sistema, permitiendo escalabilidad según las necesidades. La selección de una fuente que suministre una corriente mayor causaría un sobredimensionamiento en los componentes. La identificación de la fuente fue un paso crucial antes de calcular los valores de las protecciones para tener en cuenta su consumo en los cálculos.

Si se observa en los datos técnicos de la fuente indica que se debe utilizar un interruptor magnetotérmico mayor a 3A tipo C (ver anexo 2).

3.2.2.2 Cálculo del motor para transportador de rodillos.

Para el cálculo del motor se deben conocer los parámetros del transportador, para ello se debe conocer que se trata de un transportador de acúmulo mecánico.



Figura 45. Transportadores de acúmulo mecánico.

Se elige este tipo debido a que solo requiere un motor para operar los rodillos, ya que estos están conectados mediante un sistema de engranajes con cadenas. Aquí están sus datos específicos.

| DATOS TÉCNICOS |
|---|
| Requisitos: europalet, según UNE-EN 13698:2003 |
| Dimensiones máx. de la carga: 900 x 1.300 mm |
| Longitudes disponibles: n° de palets x 1.352 mm |
| Diámetro de rodillos: 80 mm |
| Distancia entre rodillos: 167 mm |
| Guiado de palets: ruedas guía |
| Altura de transporte estándar: 600 mm |
| Peso máx. de la carga: 1.000 kg |
| Velocidad: 7 m/min |
| Rango de temperatura: +40 °C a -30 °C y máx. 70% humedad |

Figura 46. Datos técnicos del transportador de rodillos.

Para lo cual solo se necesita los datos de carga máxima, diámetro de rodillo, velocidad y longitud.

Primero se determina cuantos palets de cajas soportará el sistema si se escoge una configuración de 6m de largo entonces.

$$6m = N^{\circ} \text{ palets} * 1352mm$$

$$N^{\circ} \text{ palets} = \frac{6m}{1,352m} = 4.$$

Luego se determina la carga máxima.

$$Peso\ max. = 1000Kg \cdot 4 = 4000Kg$$

Después se calcula la aceleración. $Vf = 7 \frac{m}{min} = 0,11 \frac{m}{seg}$

$$a = \frac{Vf - Vi}{t} \quad a = \frac{0,11 - 0}{0,3} = 0,37 \frac{m}{s^2}$$

Se debe saber el par motor (Tm), para eso es necesario calcular el par inercial (Ti) y el par resistente (Tr).

$$R = \frac{D}{2} = \frac{80mm}{2} = 40mm = 0,04m ; \quad Tm = Tr + Ti$$

$$F = Peso \cdot a = 4000kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 39,240N$$

$$Tr = F \cdot R = 39,240N \cdot 0,04m = 1569Nm$$

$$Ti = Fi \cdot R$$

$$Fi = m \cdot a = 4000kg \cdot 0,37 \frac{m}{s^2} = 1480N$$

$$Ti = Fi \cdot R = 1480N \cdot 0,04m = 59,2 Nm$$

$$Tm = 1569Nm + 59,2 Nm = 1628,2 Nm$$

Ahora se determina la velocidad angular.

$$\omega = \frac{Vf}{R} = \frac{0,11m}{0,04m} = 2,75 \frac{1}{s}$$

Entonces la potencia quedaría.

$$P = Tm \cdot \omega = 1628,2 Nm \cdot \frac{2,75}{s} = 4477,65 Watts \cong 4,5 kW$$

$$P = \frac{4,5kw}{0,746 \frac{kW}{HP}} = 6HP$$

Por lo tanto, se necesitaría un motor de 6HP que trabaje a 4,5 kW como mínimo.

Se escogió el motor marca siemens modelo 1LE0141-1BA86-4AA4 que cumple con los parámetros calculados aproximados por eso se escoge el inmediato superior (ver anexo 3).

3.2.2.3 Cálculo del motorreductor de traslación del transelevador.

En el cálculo del motor de traslación, se toman como referencia los datos de un transelevador de la empresa Mecalux. Esto se realiza debido a que el proyecto se centra únicamente en la fase de diseño, y utilizar datos de un transelevador existente proporciona una base práctica y específica para la selección y dimensionamiento del motor de traslación en el contexto de este proyecto.

| CARACTERÍSTICAS | MT-1 | MT-2 | MT-3 | MT-4 | MT-5 |
|--|--|--------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| Altura máx. simple fondo | 18.000 mm | 24.000 mm | 33.000 mm | 36.000 mm | 45.000 mm |
| Altura máx. doble fondo | 15.500 mm | 22.000 mm | 27.000 mm | 33.000 mm | 45.000 mm |
| Horquilla telescópica simple fondo | Sí | | | | |
| Horquilla telescópica doble/triple fondo | Opcional | | | | |
| Pallet Shuttle automático | Opcional | | | | |
| Carga máx. admitida | 1.500 kg (SF) 1.000 kg (DF) | 1.500 kg (SF) 1.000 kg (DF) | 1.500 kg (SF) 1.000 kg (DF) | 1.000 kg | 1.000 kg |
| Velocidad de traslación máx. (V_x) | 220 m/min | | | | |
| Aceleración en traslación máx. (a_x) | 0,5 m/s ² | | | | |
| Velocidad elevación máx. (V_y) | 66 m/min | | | | |
| Aceleración en elevación máx. (a_y) | 0,6 m/s ² | | | | |
| Cabina embarcada lateral | Opcional | | | | |
| Rango de temperaturas posibles | De -30 °C a +40 °C | | | | |
| Dimensiones máx. de carga | 1.100 x 1.300 x 2.400 mm | | | | |
| Tipo de palet | Europalet de 800 mm y 1.000 mm de ancho (EN-13382) | | | | |
| Sistema de recuperación de energía | Opcional | | | | |

Figura 47. Datos técnicos del transelevador.

Se emplea el modelo MT-1, que corresponde a un transelevador de mono columna con almacenamiento de fondo simple. Se utilizan los datos relativos a las velocidades de traslación y elevación, junto con sus respectivas aceleraciones y las cargas permitidas. Además, se considera un peso estimado para la maquinaria de 18100 kg. El diámetro de la rueda motriz se estima en 5 cm, tomando como referencia otros transelevadores mencionados por diversos autores que presentan parámetros casi idénticos [54].

Primero es necesario calcular la velocidad de giro en el eje de la rueda para eso se aplica la siguiente fórmula.

$$n_{s \text{ reductor}} = \frac{v_x}{D/2} = \frac{220 \frac{m}{min}}{0,25 m} = \frac{3,67 \frac{m}{s}}{0,25 m} = 14,7 \frac{rad}{s} = 140,37 rpm$$

Después de investigar en catálogos de reductores y motorreductores, y teniendo en cuenta la relación del reductor ($i = 19.74$) y la velocidad de salida, se obtiene la velocidad deseada en el eje del motor de la siguiente manera.

$$n_{motor} = n_{s\ reductor} * i = 140,37\ rpm \cdot 19,74 = 2771\ rpm$$

Esta velocidad se debe lograr mediante un variador de frecuencia, por lo tanto, es necesario calcular la frecuencia que proporciona la velocidad deseada. Si se tiene conocimiento de que se alcanza una velocidad de 1460.8 rpm a 50 Hz, entonces la frecuencia se calcula de la siguiente manera.[54]

$$\frac{2771\ rev/min}{1460,8\ rev/min} = \frac{f(Hz)}{50\ Hz} \qquad f = \frac{2771}{1460,8} * 50 = 95\ Hz$$

Para elegir el motorreductor es importante aplicar la fórmula,

$$P_a = F \cdot v = a(m + m_c) \cdot v$$

$$P_a = 0,5m/s^2 (18100kg + 1000kg) \cdot 3,667m/s = 35kW$$

Por lo tanto, se debe seleccionar un reductor de:

$$P_m \geq 35kW$$

El motorreductor seleccionado es de la marca SEW que ofrece gran variedad de productos con la posibilidad de configurar, sus datos principales son.

- $P_m = 37kW$
- $i = 19,74$
- $n_a = 75 \left[\frac{1}{min} \right]$
- $M_a = 4700\ Nm$

Potencia continua del motor

La fuerza que debe tomarse en cuenta para el cálculo del motor de traslación es la de rodadura, y antes de calcular se debe seleccionar un dato importante como el coeficiente de fricción o resistencia de rodadura.

Tabla 12. Cuadro de resistencia a la rodadura.

| C_r | Descripción |
|-----------------|--|
| 0,0002 a 0,0010 | Ruedas de ferrocarril sobre rieles de acero |
| 0,0025 | Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon |
| 0,005 | Rieles estándar de tranvía |
| 0,0055 | neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares |

Para el caso del proyecto el valor para elegir es 0,005 para el coeficiente de resistencia de rodadura.

Entonces la fuerza de fricción se calcula de la siguiente manera.

$$F_R = N \cdot C_r = 18100 \cdot kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,005 = 887,805N$$

Donde,

- F_R es la fuerza de fricción por rodadura. [N]
- N es la normal, equivalente al Peso por la gravedad.
- C_r es el coeficiente de rodadura.

Por lo tanto, la potencia necesaria es,

$$P_x = \frac{F_R \cdot V_{max}}{1000 \cdot \eta} = \frac{887,805 N \cdot 3,667 m/s}{1000 \cdot 0,9} = 3,61 kW$$

Entonces el par resistente en el eje del motor es,

$$M_x = \frac{P_x \cdot 9550}{n_{mot}} = \frac{3,61 kW \cdot 9550}{2771}$$

Donde,

M_x es el par resistente [Nm]

P_x es la potencia [kW]

n_{mot} es la velocidad de giro de eje del motor [rpm]

$$M_x = \frac{P_x \cdot 9550}{n_{mot}} = 12,44 Nm$$

Ahora se debe calcular los pares resistentes M_x en el eje de motor de traslación durante la fase de servicio donde.

- M1 es arranque con carga.
- M2 es funcionamiento permanente con carga.
- M3 es frenado con carga.
- M4 es arranque sin carga.
- M5 es funcionamiento permanente sin carga.
- M6 frenado sin carga.

Donde el cálculo de los pares de funcionamiento es:

$$M_2 = M_5 = M_x = 12,44 \text{ Nm}$$

Después se requiere calcular los pares de aceleración según la Norma UNE 58132

$$M_a = \frac{a(m + m_L) \cdot v_f \cdot 60}{2\pi \cdot n_{motor} \cdot n}$$

Donde,

- a es aceleración $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
- m es peso de la maquina $[Kg]$
- m_L es peso de la carga útil $[Kg]$
- v velocidad lineal $\left[\frac{m}{s}\right]$
- n_{mot} es velocidad de giro $[rpm]$

$$M_1 = M_3 = \frac{0,5 (18100 + 1000) \cdot 3,67 \cdot 60}{2\pi \cdot 2771 \cdot 0,9} = 134,20 \text{ Nm}$$

$$M_4 = M_6 = \frac{0,5 (18100) \cdot 3,67 \cdot 60}{2\pi \cdot 2771 \cdot 0,9} = 127,17 \text{ Nm}$$

Para determinar el valor medio del par resistente, se debe considerar la norma UNE 58132-94, que establece la necesidad de realizar un cálculo de los pares cuando se ejecutan un mínimo de 10 ciclos de trabajo. Un ciclo de trabajo se define desde que la máquina toma la carga desde el punto inicial hasta el punto de almacenamiento y regresa a la posición de inicio.

Se utilizó como punto de referencia los tiempos de transición de una tesis que evaluó los intervalos temporales de un transelevador real .[54]

Tabla 13. Tiempos de transición de los pares.

| N° ciclo | $M_1 = M_3$ | t_1 | $M_4 = M_6$ | t_4 | M_2 | t_2 |
|----------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| 1 | 134,20 | 0,67 | 127,17 | 0,67 | 12,44 | 0 |
| 2 | 134,20 | 1,35 | 127,17 | 1,35 | 12,44 | 0 |
| 3 | 134,20 | 2,03 | 127,17 | 2,03 | 12,44 | 0 |
| 4 | 134,20 | 2,70 | 127,17 | 2,70 | 12,44 | 0 |
| 5 | 134,20 | 3,38 | 127,17 | 3,38 | 12,44 | 0 |
| 6 | 134,20 | 4,06 | 127,17 | 4,06 | 12,44 | 0 |
| 7 | 134,20 | 4,73 | 127,17 | 4,73 | 12,44 | 0 |

| | | | | | | |
|----|--------|------|--------|------|-------|------|
| 8 | 134,20 | 5,41 | 127,17 | 5,41 | 12,44 | 0 |
| 9 | 134,20 | 6 | 127,17 | 6 | 12,44 | 0,1 |
| 10 | 134,20 | 6 | 127,17 | 6 | 12,44 | 0,76 |
| 11 | 134,20 | 6 | 127,17 | 6 | 12,44 | 1,44 |
| 12 | 134,20 | 6 | 127,17 | 6 | 12,44 | 2,12 |

Una vez obtenido los tiempos de ciclo se aplica la siguiente fórmula para obtener el par resistente medio.

$$M_{med} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{12} (M_1^2 \cdot t_{1j} + M_3^2 \cdot t_{3j} + M_4^2 \cdot t_{4j} + M_6^2 \cdot t_{6j} + M_2^2 \cdot t_{2j} + M_5^2 \cdot t_{5j})}{\sum_{j=1}^{12} (t_{1j} + t_{3j} + t_{4j} + t_{6j} + t_{2j} + t_{5j})}}$$

Donde,

M_{med} es el par resistente medio equivalente [Nm]

t_j es la duración de cada par resistente M_x en cada ciclo.

Al ser equivalentes los pares $M_1=M_3$, $M_4=M_6$, $M_2=M_5$ la fórmula queda de la siguiente manera.

$$M_{med} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{12} (M_1^2 \cdot t_{1j} \cdot 2 + M_4^2 \cdot t_{4j} \cdot 2 + M_2^2 \cdot t_{2j} \cdot 2)}{\sum_{j=1}^{12} (t_{1j} \cdot 2 + t_{4j} \cdot 2 + t_{2j} \cdot 2)}}$$

Dada la abundancia de datos para el cálculo del par resistente medio, se considera la ayuda de la plataforma Matlab para llevar a cabo el procesamiento y análisis de la información (ver anexo 4).

El cual da como resultado,

$$M_{med} = 120,5673 \text{ Nm}$$

Dado ese valor, ahora se calcula la potencia que necesitaría el motor de traslación.

$$P_{med} = \frac{M_{med} \cdot n_{mot}}{9550} = \frac{120,5673 \text{ Nm} \cdot 2771 \text{ rpm}}{9550} = 34,98 \text{ kW}$$

Condiciones que cumplir por el motor.

El motor que se selecciona debe cumplir con los siguientes parámetros.

$$P_{mot} \geq P_{med}$$

$$M_{max\ mot} \geq M_a + M_x$$

$$P_{mot} \geq P_x$$

El motor seleccionado es un motor con un reductor de tipo cónico de la marca SEW con las siguientes configuraciones de los parámetros.

$$V = 440 - 460D\ 60Hz$$

$$P = 37\ kW$$

$$M_{salida} = 4700/3910[Nm]$$

$$n_2 = 75/90\ [rpm]$$

$$i = 19,74$$

$$f = 50/60\ [Hz]$$

$$M = 580\ Kg$$

$$Corriente\ nominal = 58A - 60Hz$$

Ante de afirmar la selección se debe realizar un último cálculo,

$$M_n = \frac{P_n \cdot 9550}{n_{mot}} = \frac{37kW \cdot 9550}{2771rpm} = 127,52\ Nm$$

Por lo tanto

$$P_{mot} \geq P_{med} = 37kW \geq 34,98\ kW$$

$$M_{max\ mot} \geq M_a + M_x = 127,52 \cdot 1,2 \geq 146,64 = 153,024 \geq 146,64$$

$$P_{mot} \geq P_x = 37\ kW \geq 3,61\ kW$$

$$P_{mot} = \frac{37kW}{0,746} = 50HP$$

De esta manera, el motor seleccionado satisface los requisitos operativos para la traslación del transelevador. Además, al conocer el modelo exacto del motorreductor, se puede determinar su corriente nominal. En consecuencia, se requeriría un guardamotor de 58A o más, sin exceder los valores para garantizar una protección adecuada del motor.

3.2.2.4 Cálculo del motorreductor de elevación de transelevador

En esta sección, se calcularon los parámetros que debe cumplir el motor encargado de la elevación. Para este cálculo, se considera no solo el peso de la carga, sino también el peso de la maquinaria y de la cabina que alberga la carga durante el transporte.

Determinación del torque necesario

Este movimiento se logra mediante el enrollamiento de dos cables mediante sendos de tambores que cumplan con el torque y velocidad requeridos. Para esto se hará uso de un motor eléctrico con similares propiedades que el motor de traslación, a diferencia de la potencia y la relación de la reducción.

Para este propósito, se utiliza como referencia una fuerza máxima de elevación de 41,000 N, la cual se obtiene a partir de investigaciones previas analizadas[55].

Para el cálculo de la potencia necesaria se utiliza la siguiente fórmula,

$$P_{x\text{ máx}} = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{41000N \cdot 66m/min}{1000 \cdot 0,95} = \frac{41000N \cdot \frac{1,1m}{s}}{1000 \cdot 0,95} = 47.5kW$$

Donde,

- $P_{x\text{ máx}}$ es la potencia máxima necesaria [kW]
- v es velocidad máxima de elevación [m/s]
- F es la fuerza máxima de elevación [N]
- η es rendimiento del mecanismo

Velocidad de salida del reductor

Este parámetro se calcula a partir de la velocidad deseada dado por el transelevador y del diámetro del tambor (500 mm) donde se enrolla el cable que soporta el trabajo de la elevación.

Estos se calculan de la siguiente forma,

$$n_s = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D_p}$$

Siendo,

- n_s la velocidad de salida del reductor [rpm]

- v la velocidad lineal de elevación [m/min]
- D_p el diámetro del tambor [mm]

Por lo tanto,

$$n_s = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D_p} = \frac{1000 \cdot 66m/min}{\pi \cdot 500 mm} = 42 rpm$$

Es importante realizar el cálculo del par resistente del reductor en su salida, para eso se utiliza la siguiente fórmula,

$$M_r = \frac{P_{x max} \cdot 9550}{n_s} = \frac{47.5kW \cdot 9550}{42rpm} = 10800,59 Nm$$

Entonces el motorreductor seleccionado debe ajustarse a los siguientes parámetros:

$$P_{mot} \geq P_{x max}$$

$$M_{salida mot} \geq M_r$$

Después de realizar una indagación en catálogos se escogió un motorreductor SEW misma marca que el motorreductor de traslación para tener un mejor control sobre sus parámetros mecánicos y eléctricos, este motorreductor seleccionado tiene las siguientes propiedades:

$$V = 440 60Hz$$

$$P = 55 kW$$

$$M_{salida} = 15200[Nm]$$

$$n_2 = 34[rpm]$$

$$i = 51,77$$

$$f = 60 [Hz]$$

$$M = 1583 Kg$$

$$Corriente nominal = 101 A - 60Hz$$

Por lo tanto, la velocidad angular requerida en el eje del motor se obtiene de la siguiente manera, el producto de la relación del reductor cónico (ya conocido) y la velocidad deseada en el eje de la salida del motor.

$$n_{motor} = n_{s reductor} \cdot i = 42 rpm \cdot 51,77 = 2174,34 rpm$$

El torque de salida en el motor con los datos obtenidos se muestra seguidamente.

$$M_{salida mot} = \frac{P_{x max} \cdot 9550}{n_s} = \frac{55 kW \cdot 9550}{42 rpm} = 12506 Nm$$

De tal manera este motor seleccionado cumple con los requisitos citados anteriormente,

$$P_{mot} \geq P_{x\ max} = 55kW \geq 47,5\ kW$$

$$M_{salida\ mot} \geq M_r = 12506Nm \geq 10801\ Nm$$

Así, el motor seleccionado cumple con los requisitos operativos para la elevación del transelevador. Al conocer el modelo exacto del motorreductor, se puede determinar su corriente nominal. Por consiguiente, sería necesario un guardamotor de 101A o más, sin superar estos valores para asegurar una protección adecuada del motor.

Elección de los variadores de frecuencia para los diferentes motores.

Con conocimiento de los parámetros de cada motor, es posible seleccionar el variador adecuado respetando la parametrización establecida. Después de una revisión en catálogos de variadores, se identificaron modelos de la empresa DELTA que ofrecen una amplia gama de opciones.

Tras realizar nuevamente los cálculos pertinentes para determinar la potencia y el par necesarios, los parámetros eléctricos de cada motor quedan de la siguiente manera.

Motor de transportador de rodillos:

- P = 5,5 kW 7,5 HP
- Corriente nominal = 18,8 A (60 Hz)

Motor de traslación del transelevador:

- P = 37 kW 49 HP
- Corriente nominal = 58A (60Hz)

Motor de elevación del transelevador:

- P =55 kW 73 HP
- Corriente nominal = 101A (60Hz)

Tabla 14. Especificaciones de los variadores de frecuencia.

| 460V | | | | | | |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|
| Tamaño de marco | | | B | | D0 | |
| Modelo VFD-XXCXX | | | 075 | 110 | 450 | 750 |
| Capacidad de salida | Servicio Normal | Capacidad nominal de salida (kVA) | 14 | 19 | 73 | 120 |
| | | Corriente nominal de salida (A) | 18 | 24 | 91 | 150 |
| | | Salida del motor aplicable (kW) | 7.5 | 11 | 45 | 75 |
| | | Salida del motor aplicable (HP) | 10 | 15 | 60 | 100 |
| | Servicio Pesado | Capacidad nominal de salida (kVA) | 14 | 18 | 69 | 114 |
| | | Corriente nominal de salida (A) | 17 | 23 | 86 | 143 |
| | | Salida del motor aplicable (kW) | 5.5 | 7.5 | 37 | 55 |
| | | Salida del motor aplicable (HP) | 7.5 | 10 | 53 | 75 |
| Capacidad de entrada | Corriente de entrada | Servicio normal | 20 | 26 | 101 | 157 |
| | | Servicio pesado | 19 | 25 | 96 | 149 |
| | Tensión nominal/frecuencia | | 3-fases AC 380V~480V 50/60Hz | | | |
| | Rango de tensión de funcionamiento | | 323 ~ 528 Vac | | | |
| | Tolerancia de frecuencia | | 47~63 Hz | | | |

Basándose en la tabla presentada, se opta por el variador modelo VFD075C32X, el cual cumple con los parámetros establecidos para la tarea de transporte de cargas a través de transportadores de rodillos. Para la función de traslación, es decir, el movimiento horizontal del transelevador, se selecciona el variador modelo VFD450C32X. Finalmente, para la labor de elevación del transelevador, se elige el variador modelo VFD750C32X [56].

3.2.2.5 Elección de protecciones eléctricas.

Protección del PLC y sus módulos:

Interruptor automático SIE.5SL4501-8.

Como se calculó previamente se obtuvo una suma total de todos los corrientes incluidos los módulos de 831 mA, por lo tanto, un interruptor automático de 1 amperio valor comercial es suficiente.

Protección de fuente de alimentación externa.

Interruptor automático SIE.5SY4203-7

Dado que el PLC y sus módulos necesitaban una corriente superior a la que el controlador podía proporcionar, fue necesario utilizar una fuente de alimentación

externa que suministrará 24VDC a 2,5A. Según el datasheet de esta fuente, se recomienda una protección de 3 amperios, por lo que se seleccionó el interruptor automático 5SY4203-7 de la marca Siemens de 3A.

Para la parte de controladores y módulos se usó un solo diferencial debido a que la corriente total es baja por lo que se optó en usar un diferencial SIE.5SU1354-3KK06 de,

- Intensidad de corriente nominal de 6A.
- Intensidad de disparo de 30mA.

Protecciones para los variadores,

Variador de motor de transportador de rodillos:

SIE.5SL3320-7

- Interruptor automático de protección.
- Intensidad nominal de 20A - 3polos.
- Protección de cortocircuito.

SIE.5SV3442-6

- Interruptor diferencial.
- Intensidad nominal de 25A polos.
- Intensidad nominal de disparo de 100mA.

Variador de motor de traslación de transelevador:

SIE.5SP4391-6

- Interruptor automático de protección - 3polos.
- Intensidad nominal de 100A.
- Protección de cortocircuito.

SIE.5SM3448-6

- Magnetotérmico.
- Intensidad nominal de 100Amperios 3polos + N.
- Intensidad nominal de disparo de 100mA.

Variador de motor de elevación de transelevador:

SIE.3VM1116-3EE32-0AA0

- Interruptor automático de protección de 112 - 160A - 3polos.
- Protección de sobrecarga.
- Protección de cortocircuito.

DLX.3VL16S160B300A0

- Unidad protección diferencial tipo A.
- Intensidad nominal de 160A.
- Intensidad nominal de disparo de 0,03...5A.

Protección de motores

Motor de transportador de rodillos: SIE.3RV2021-4BA10

El motor del transportador de rodillos tiene una corriente nominal de 18,8 amperios a 220V. Con estos parámetros, al buscar en catálogos, se seleccionó un guardamotor con protección ajustable de 13 a 20 amperios. Por ende, es necesario configurar el valor en el cual opera el motor para asegurar su funcionamiento adecuado según las demandas de la tarea propuesta.

Motor de traslación de transelevador: SIE.3RV2031-4JA15

El motor de traslación de transelevador demanda una corriente nominal de 58 amperios. Con este dato buscando en catálogos de guardamotors se eligió un guardamotor con protección de disparo por sobrecarga de 54 a 65 amperios, regulando a su amperaje de trabajo el motor efectuara su tarea sin desperfectos eléctricos y brindando la potencia deseada.

Motor de elevación de transelevador: SIE.3RV2041-4MA10-0DA0

El motor de elevación del transelevador requiere la mayor potencia, ya que maneja la carga más pesada del sistema, soportando tanto el peso de la carga como el de la cabina de la maquinaria. Este motor tiene una corriente nominal de 101 amperios. Aunque es complicado encontrar guardamotors con un disparo de sobrecarga superiores a 100 amperios en catálogos convencionales, es importante considerar que el motor no operará constantemente a su potencia máxima.

Se calcula la corriente nominal del motor, teniendo en cuenta que debe cumplir con una potencia de 47,5 kW \cong 50kW según los cálculos:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot v \cdot fp \cdot \eta} = \frac{50kW}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,82 \cdot 0,95} = 93,6 A$$

Donde,

- I_N es la corriente nominal [A]
- P es la potencia del motor [kW]
- v es la tensión del motor [V]
- fp es el factor potencia
- η es la eficiencia

Si se tiene en cuenta que se puede ajustar la potencia gracias al variador de frecuencia, la elección de un guardamotor con un disparo de sobrecarga de 100 amperios no presentaría inconvenientes, ya que solo se requiere un valor ligeramente superior a los 94 amperios. Esto es válido siempre que el motor esté configurado y calibrado de manera precisa. Por lo tanto, se elige el guardamotor regulable de 80 a 100 amperios regulables.

3.2.2.6 Diseño eléctrico del sistema

Con el propósito de garantizar una conexión sólida entre los elementos de control y los componentes de alimentación o fuerza, se elaboran los correspondientes esquemas de conexión, el diseño de los esquemas fue elaborado en el software EPLAN Education 2023.

Suministro de energía del PLC y sus módulos

El sistema dispone una línea trifásica de alimentación L1 L2 L3| necesaria para los motores, adicional cuenta con un neutro N para equipos que funcionan a 120VAC como el PLC, y para la protección una línea a tierra PE.

Por norma general se debe colocar protección para los componentes, como también para el personal, por tal motivo es indispensable contar con interruptores automáticos e interruptores diferenciales respectivamente, en la parte de control se

utiliza un diferencial Q1 (de 6A) conectado a la vez con 2 interruptores automáticos F1 y F2, F1 protege a la fuente externa, mientras que F2 protege al PLC y sus módulos (ver figura 48).

Suministro de energía para variadores y motores

En la parte de los variadores se dispone de 3 interruptores de protección de fallo de corriente (diferenciales) Q2, Q3 y Q4, los cuales suministran de energía a los variadores VFD075, VFD450 y VFD750 respectivamente, aguas abajo de los diferenciales se conectan los interruptores automáticos F3, F4 y Q5 para protección contra cortocircuitos y justo debajo de estos se conectan los guardamotors Q6, Q7 y Q8 para protección contra sobrecargas para los variadores y motores respectivamente (ver figura 49).

Conexión de entradas del PLC S7-1200

El PLC S7-1200 consta con 8 entradas digitales y dos entradas analógicas los cuales se usaron para la conexión de los sensores y pulsadores.

En la entrada I0.0 se conecta el pulsador de emergencia PE1 ya que este no solo debe conectarse en circuito de lógica cableada también debe considerarse dentro de la programación.

En la entrada se I0.1 se establece una conexión con el sensor de entrada B5 este sensor es de tipo PNP por lo cual el PLC debe cerrar el circuito negativo, cabe recalcar que todos los sensores se alimentan mediante los bornes X6 y X7 en positivo y X8 y X9 en negativo que son conectados a la fuente de alimentación externa de 24 VDC respectivamente.

Las entradas I0.2, I0.3 e I0.4 corresponden a los sensores de la cabina de transferencia donde se encuentran las horquillas. Esta cabina dispone de tres sensores: At. Left (B2), At. Right (B3) y At. Middle (B4). Estos sensores cumplen la función de señalar la posición de las horquillas, actuando como finales de carrera. Los sensores se conectan en el orden mencionado.

Las entradas I0.5 e I0.6 corresponden a los sensores de movimiento provenientes de los encoders de los motores de traslación y elevación. Estos sensores, denominados B5 y B6, indican al controlador que el transelevador se encuentra en movimiento.

La entrada analógica AI0 se utiliza para conectar el sensor capacitivo B8, el cual indica cuando el transelevador se encuentra en su posición inicial o posición cero.

Por último, la segunda entrada analógica AI1 se emplea para el sensor de tamaño. Este sensor requiere un módulo para comunicarse con el PLC, el cual envía datos enteros dependiendo del tamaño. Dicho módulo se conecta en el borne X19 (ver figura 50).

El módulo de entradas se utilizó para conectar los pulsadores de marcha y paro de cada motor, las entradas DIa.0, DIa.1, DIa.2, corresponden a los pulsadores de marcha de los motores del transportador de rodillos, motor de traslación y motor de elevación respectivamente, las entradas DIa.3, DIa.4, DIa.5 pertenecen a los pulsadores de parada, y adicionalmente en los pines DIa.6 y DIa.7 se conectan los pines del encoder A y B (ver figura 51).

Conexión de salidas del PLC S7-1200

En las salidas de relé Q0.1, Q0.2 y Q0.3 se conectan los bornes X28, X29 y X30, respectivamente. Estos bornes a su vez conectan las bobinas K3, K4 y K5, las cuales activan los contactores que accionan los motores del transelevador y del transportador de los palets.

El pin Q0.4 se utiliza para conectar el motor que acciona las horquillas. Este motor ya está integrado en la maquinaria del transelevador.

Por último, la salida Q0.5 se utiliza para activar el transportador de salida de los palets (ver figura 50).

Conexión de los variadores de frecuencia

Los variadores cuentan con 3 pines esenciales para realizar el arranque, parada y cambio de dirección de los motores. Estos pines están identificados como FDW

(Forward), REV (Reverse) y DCM (Común). Además, disponen de pines desde MI1 hasta MI8, que se utilizan para diversas funciones.

Por otro lado, los pines del módulo de salidas de relé van desde DQ.0 hasta DQ.7, y están asignados a los bornes que van desde X34 hasta X41. En consecuencia, los bornes X34, X35 y X36 están conectados al variador VFD075, los bornes X37, X38 y X39 al variador VFD450, y finalmente, los bornes X40 y X41 al variador VFD750. De esta manera, se lleva a cabo el control mediante los variadores (ver figura 52).

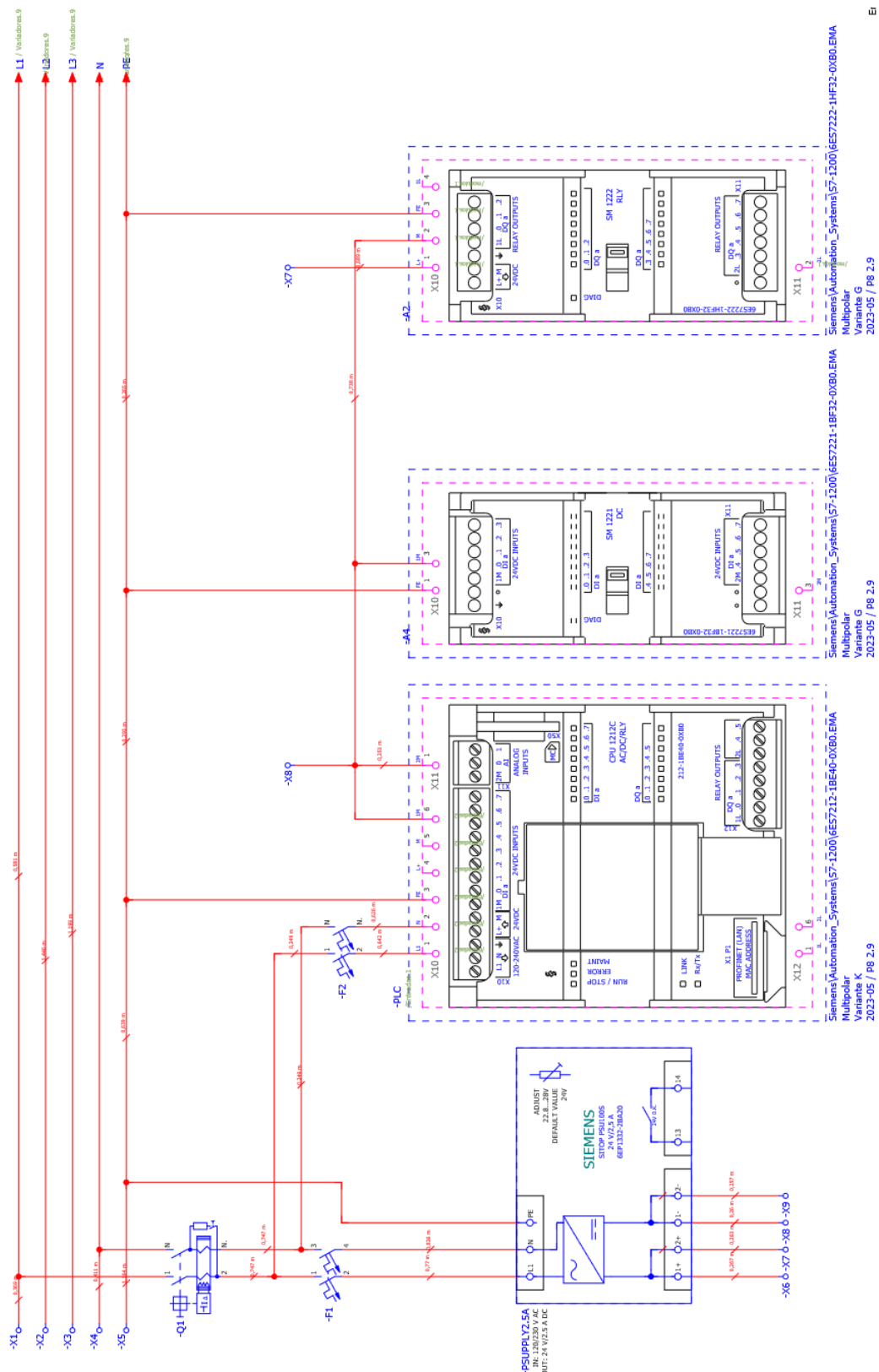


Figura 48. Alimentación de PLC y módulos.

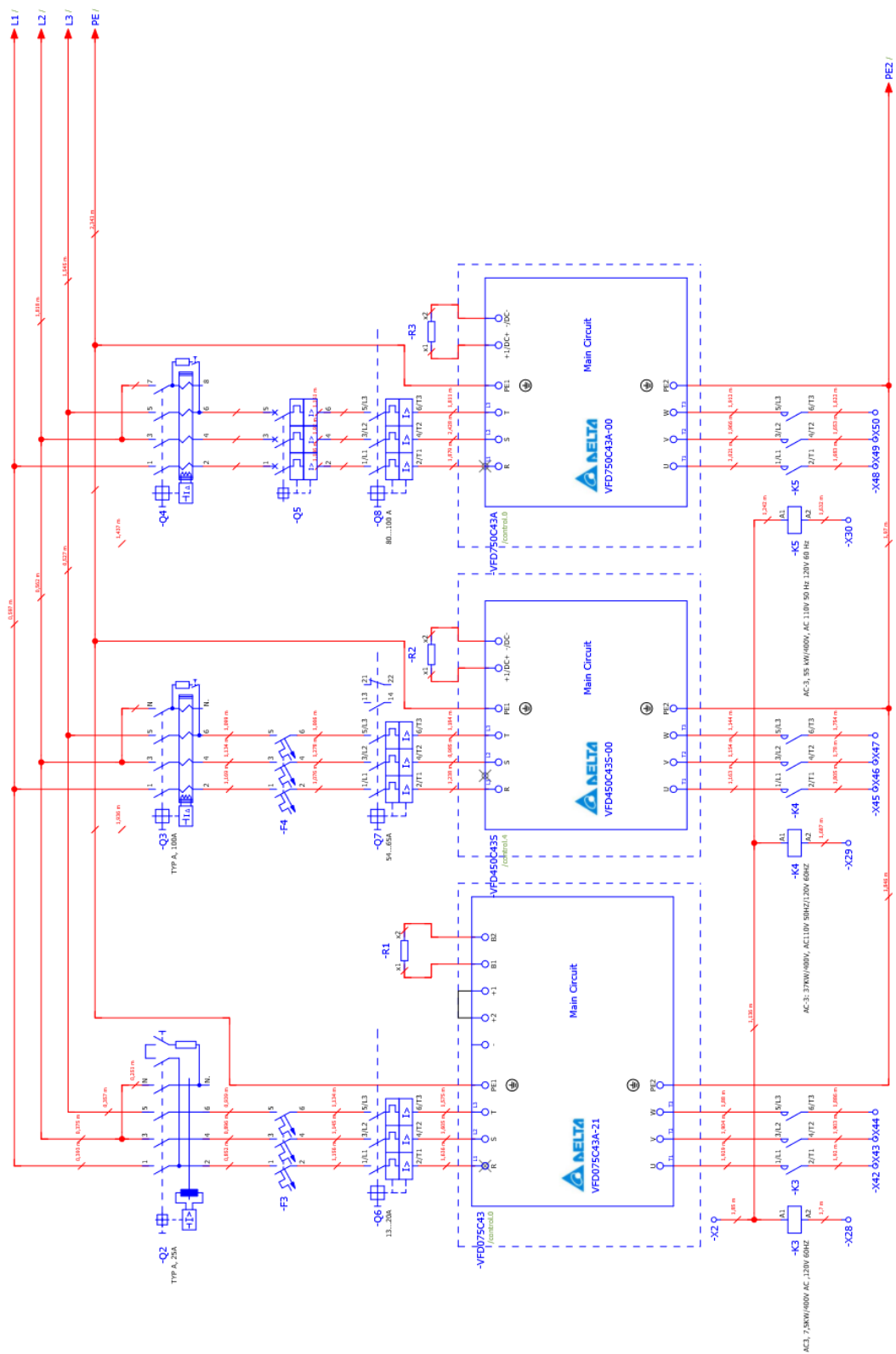


Figura 49. Conexión de los variadores y motores.

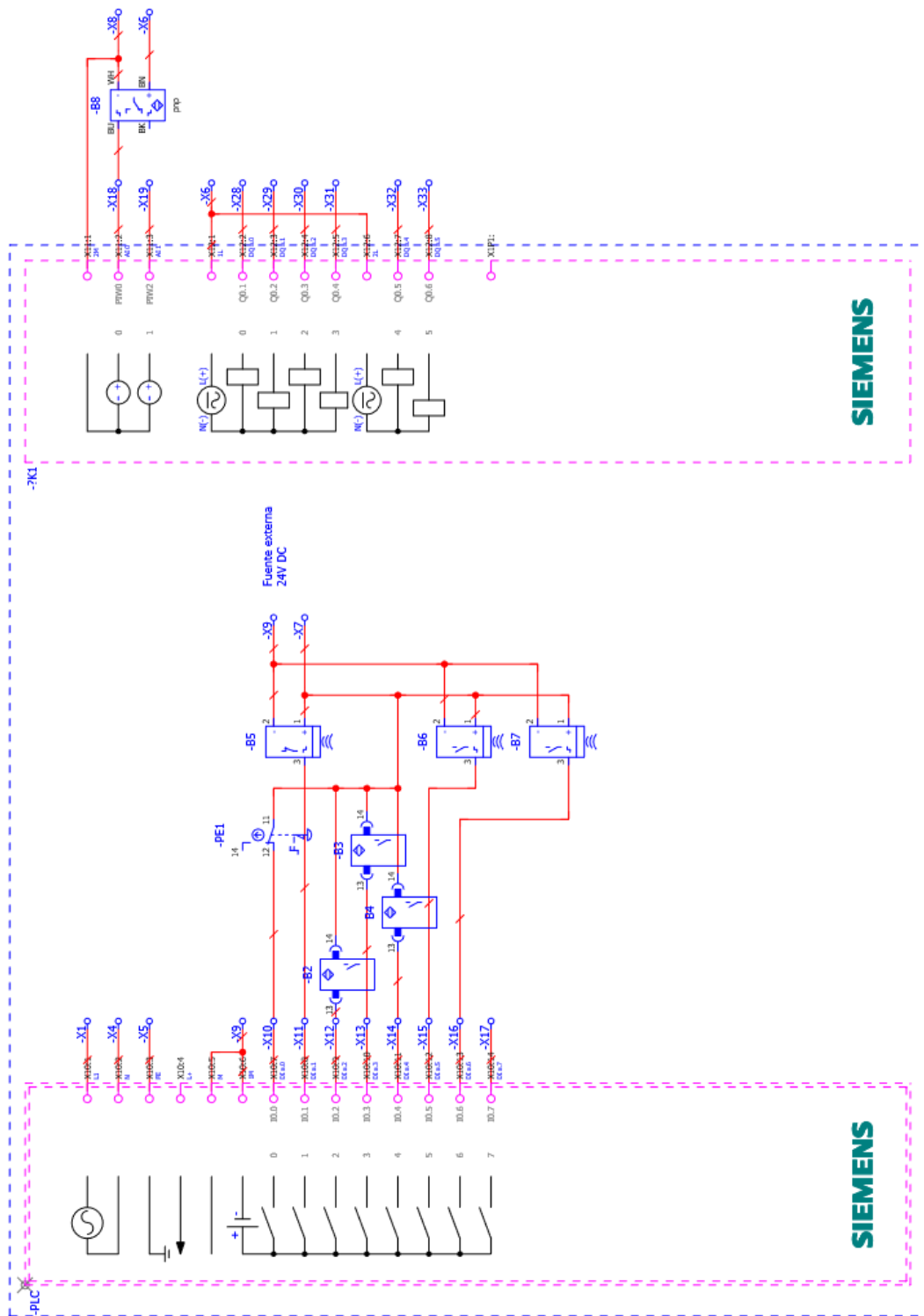


Figura 50. Conexión de entradas y salidas del PLC S7-1200.

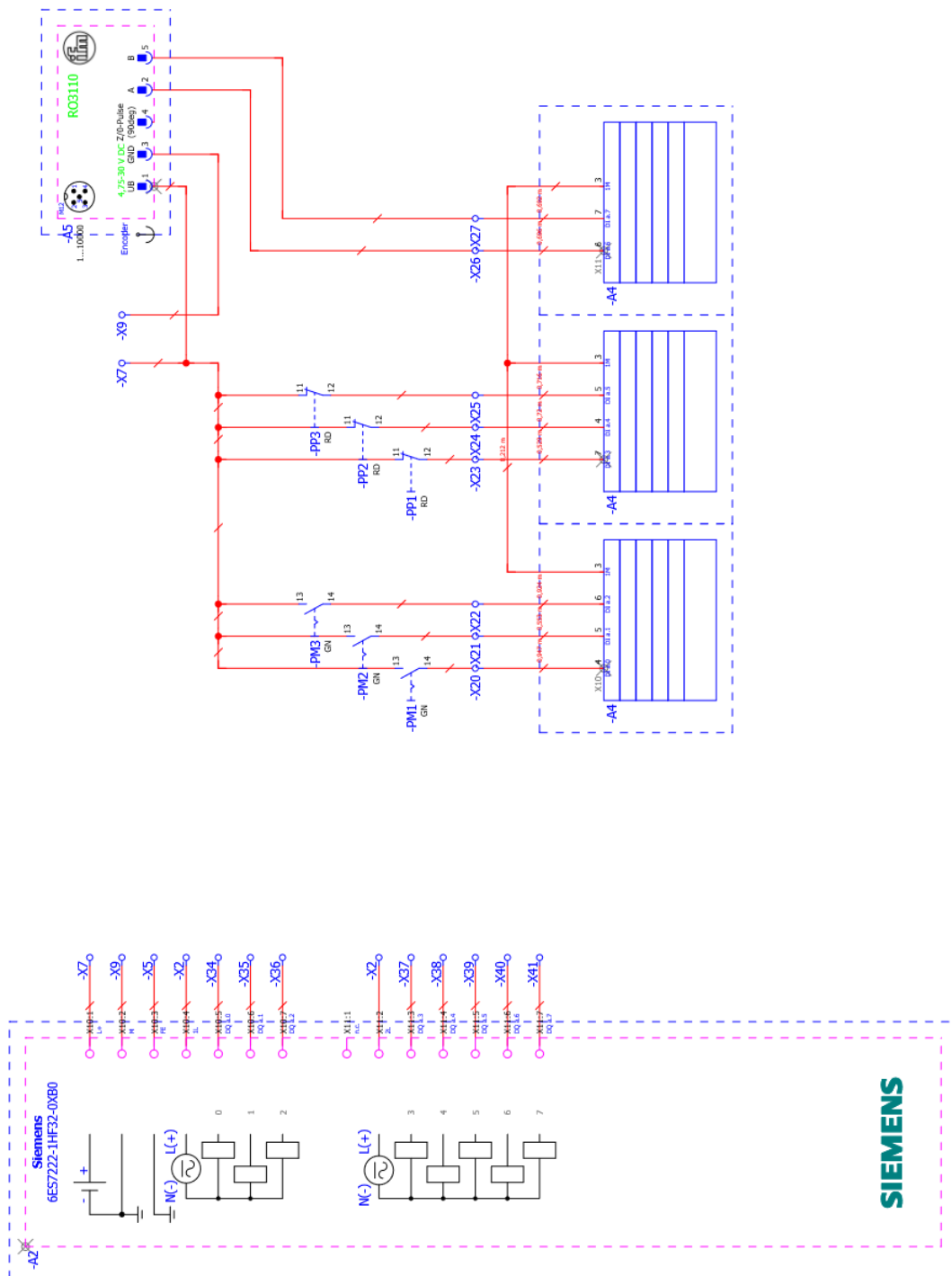


Figura 51. Conexión de entradas y salidas de los módulos.

Panel eléctrico del sistema

El panel integra tanto la sección de control como la de potencia del sistema, diseñado en conformidad con las normativas para el diseño de tableros eléctricos, tales como la IEC 61439-1 y 2. Este suministra la información esencial necesaria para el diseño del sistema. Además, el panel está equipado con canaletas ranuradas para una distribución eficiente del cableado, rieles DIN para asegurar los componentes de control y eléctricos, así como borneras para la conexión y protección de elementos como sensores y actuadores [57].

Dadas las dimensiones de los variadores de frecuencia, se ha elegido un armario con las siguientes medidas de Ancho, Alto y Profundo (800x1800x600 mm), el cual cuenta con una puerta destinada a la colocación de elementos de control, como los pulsadores y la pantalla de monitoreo (Ver figura 53).

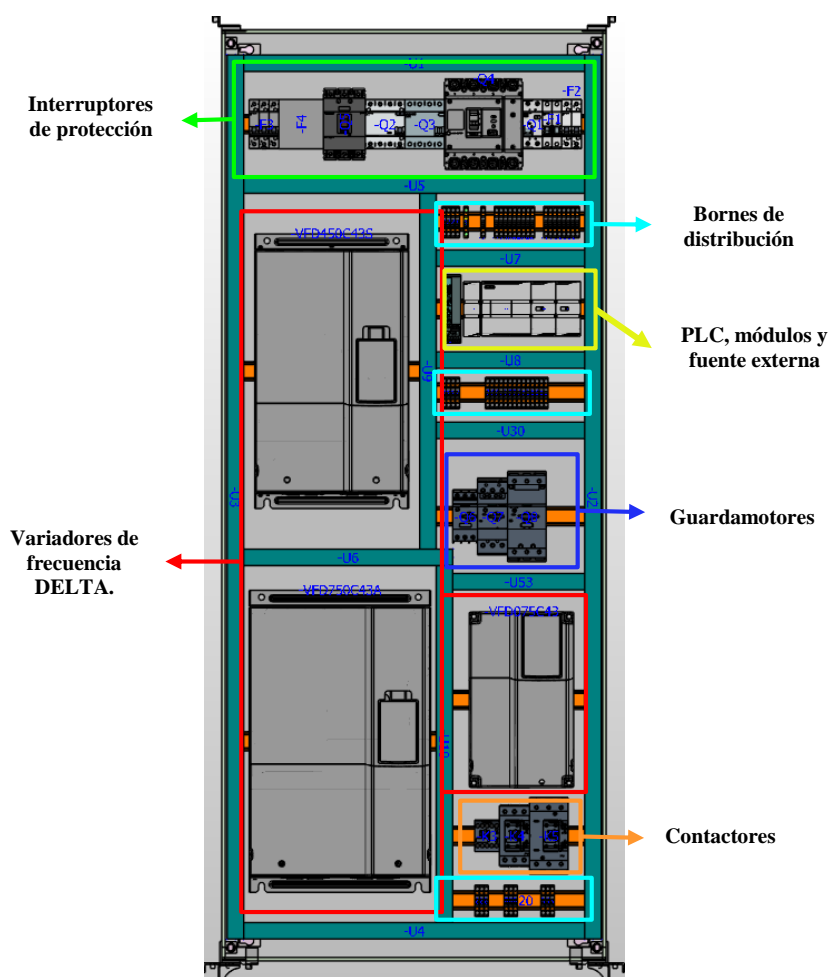


Figura 53. Posicionamiento de los equipos en la placa de montaje.

El diseño en 3D de un tablero eléctrico es fundamental para optimizar la disposición de sus componentes y facilitar su acceso y mantenimiento. Una de las características principales es la presencia de una sola puerta de acceso, la cual ofrece una solución compacta y eficiente para llegar a los componentes eléctricos y de control.

La puerta única del tablero eléctrico permite una integración versátil de varios elementos esenciales para el control y monitoreo del sistema, como pulsadores de marcha y paro, luces piloto, botones de emergencia y pantallas industriales. Su disposición óptima en el diseño en 3D asegura una operación segura y eficiente. Además, el diseño considera aspectos cruciales como la ventilación adecuada y la gestión de cables para mantener una temperatura óptima y un enrutamiento ordenado de los cables, lo que facilita una instalación y mantenimiento más sencillos a largo plazo. (ver figura 54).

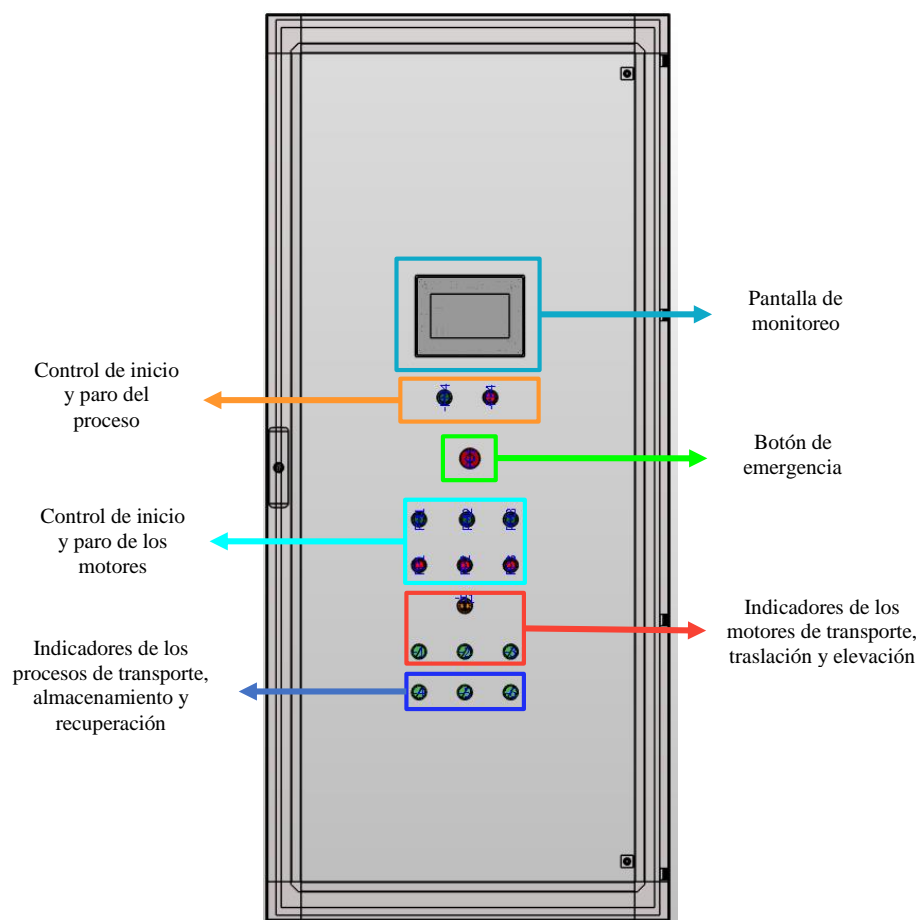


Figura 54. Puerta del Armario.

Gracias al software de ePLAN Education 2023, se hizo posible realizar el diseño de este tablero 3D como en 2D. permitiendo de esa manera realizar una documentación formal con los diseños en 2D al momento de enviar trabajos a clientes para una respectiva revisión antes de la confirmación de la construcción del tablero (ver figuras 55 -56).

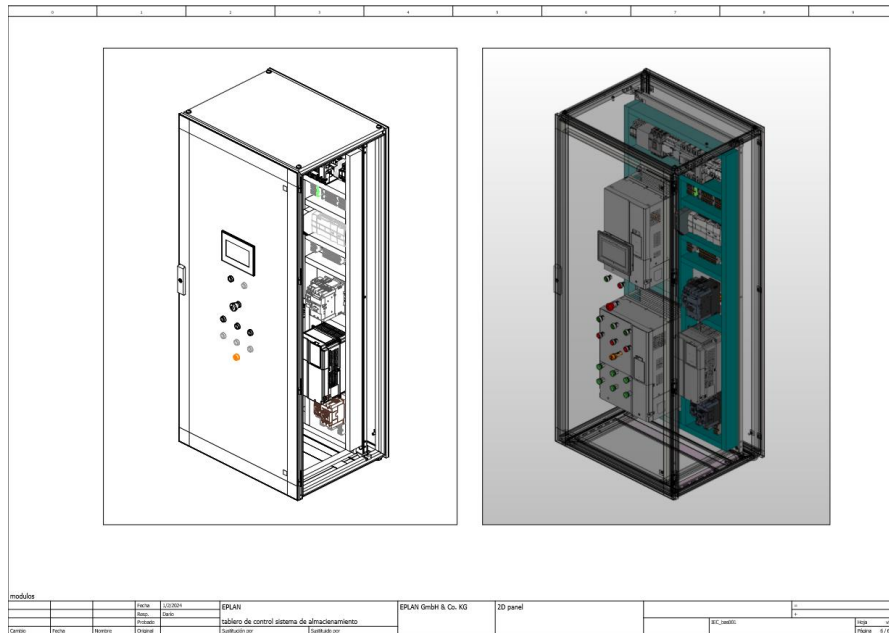


Figura 55. Vista 2D y 3D del panel general.

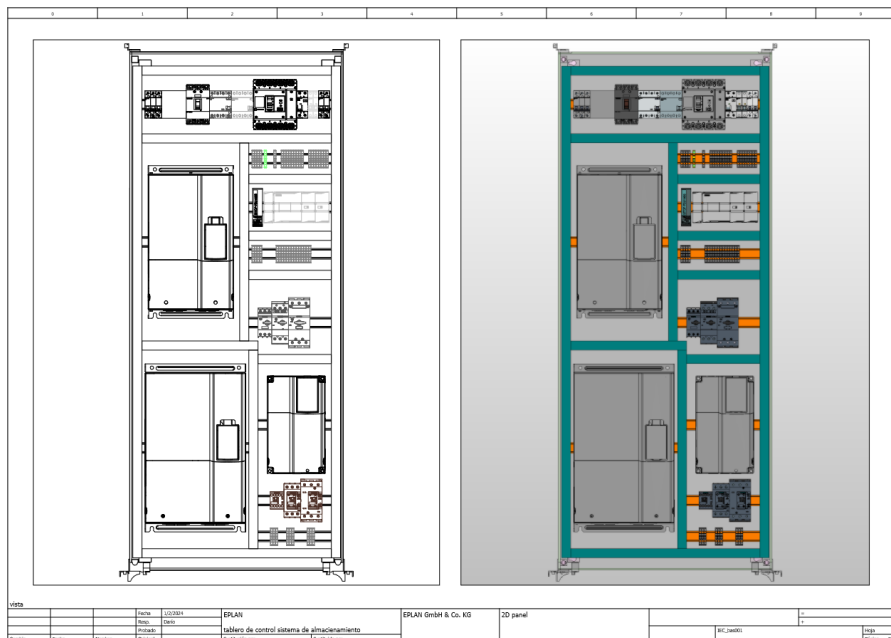


Figura 56. Vista 2D y 3D de la paca de montaje.

3.2.3 CONFIGURACIÓN DE PLC SIEMENS S7-1200

La configuración del controlador Siemens S7-1200 se lleva a cabo a través del software Totally Integrated Automation V16 (TIA PORTAL V16). Antes de comenzar, es fundamental recordar que el PLC debe estar conectado a la misma red que la computadora o directamente al PC.

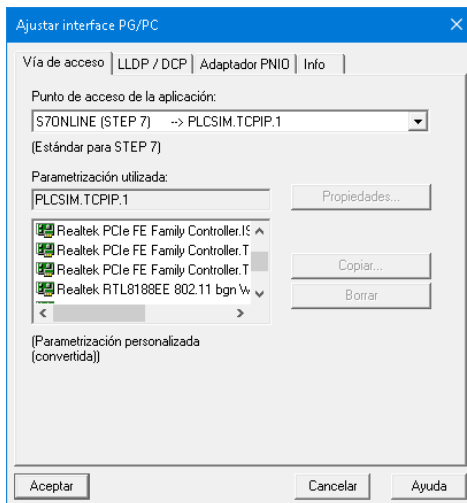


Figura 57. Interfaz PG/PC.

Otra recomendación importante, especialmente si es la primera vez que conecta el PLC al PC, es ajustar la interfaz PG/PC con la tarjeta de red de la computadora. En ocasiones, podría estar conectado a adaptadores virtuales del mismo computador, lo que puede ocasionar problemas de conexión.

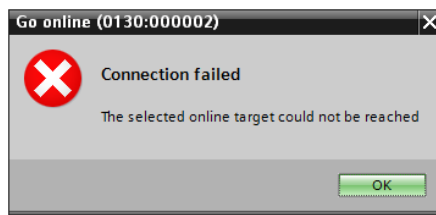


Figura 58. Error de conexión.

Luego de conectar correctamente el PLC se debe asignar un dispositivo en el software, se debe considerar el modelo y versión firmware exacto, para este proyecto se utiliza el PLC con referencia “6ES7 212-1BE40-0XB0” y versión de firmware “4.4”.

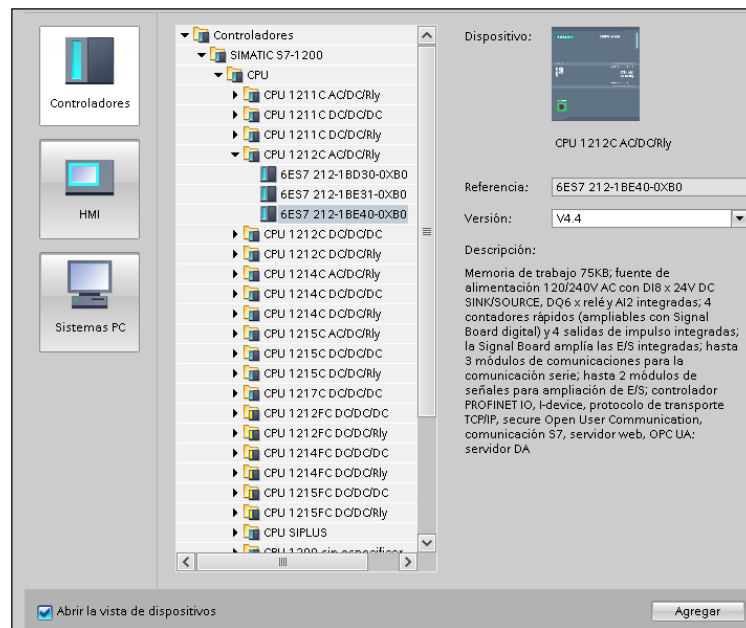


Figura 59. Selección de dispositivo controlador.

Después de elegir el dispositivo controlador, es necesario asignarle una dirección IP específica, la cual no debe coincidir con ninguna otra en el sistema. La dirección IP asignada en este caso es "192.168.0.1", con una máscara de subred de "255.255.255.0" (Ver Figura 60).

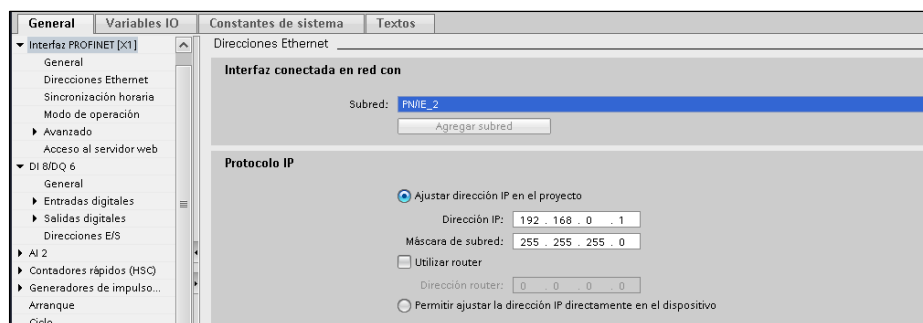


Figura 60. Asignación de la dirección IP al PLC S7 1200.

Una vez que el PLC ha sido configurado adecuadamente, el software presentará un árbol del proyecto que incluye varias carpetas. Estas carpetas contienen distintas secciones que facilitan la programación, la adición de dispositivos, la inclusión de módulos adicionales, la creación de variables, tipos de datos, entre otras funciones (ver figura 61).

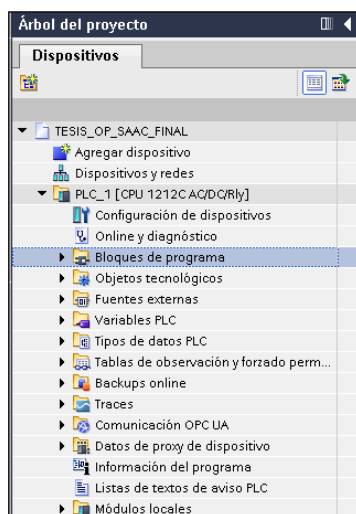


Figura 61. Árbol del proyecto.

La mayor parte del controlador ya se encuentra configurado, pero aún el proyecto requiere de más elementos como los módulos de expansión de salidas digitales, para esto se dirige al apartado de dispositivos y redes, en la pestaña de vista de dispositivos, justo en el lado derecho aparece un catálogo donde se tiene los diferentes elementos de hardware que se pueden agregar al PLC.

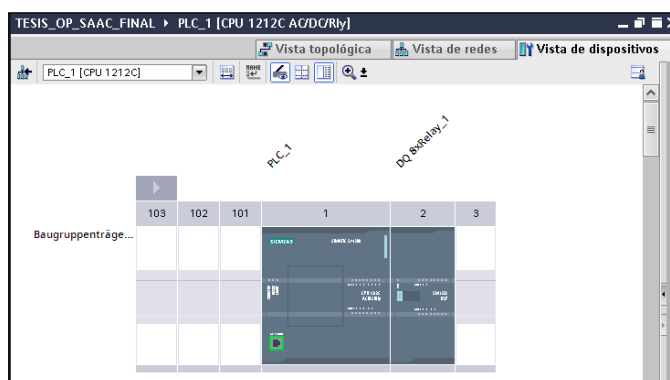


Figura 62. Vista de los dispositivos agregado al Proyecto.

En esta instancia del proyecto, fue indispensable incorporar un módulo de expansión de salidas digitales debido a la cantidad de actuadores que se deben controlar. En consecuencia, se decidió utilizar el módulo SM 1222 '6ES7 222-1HF30-0XB0', el cual proporciona 8 salidas digitales adicionales (ver figura 63).

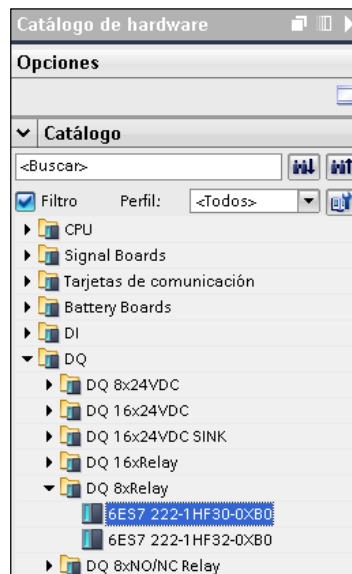


Figura 63. Catálogo Hardware de TIA PORTAL V16.

Después de completar la configuración del controlador, se procede a crear las variables tanto para las salidas (actuadores) como para las entradas (pulsadores, botones, sensores). Además, se realizan declaraciones de variables de marca para simplificar la programación del proyecto (ver figura 64).

| | Nombre | Tipo de datos | Dirección ▲ | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... |
|----|---------------------------|---------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | ← Sensor_tamaño | Int | %IW1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2 | ← Sensor_capacitivo1 | Int | %IW3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | ← PE | Bool | %I10.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | ← 1, At Entry | Bool | %I10.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | ← 1, At Left | Bool | %I10.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | ← 1, At Right | Bool | %I10.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7 | ← 1, At Middle | Bool | %I10.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8 | ← 1, MovingX | Bool | %I10.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9 | ← 1, MovingZ | Bool | %I10.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | ← 1, Entry Conveyor | Bool | %Q0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11 | ← 1, Forks Left(1) | Bool | %Q0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12 | ← 1, Lift(1) | Bool | %Q0.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13 | ← 1, Fors Right(1) | Bool | %Q0.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14 | ← 1, Load Conveyor(1) | Bool | %Q0.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15 | ← 1, Downloading Conveyor | Bool | %Q0.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16 | ← 1, Taget Pos(0) | Bool | %Q1.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17 | ← 1, Taget Pos(1) | Bool | %Q1.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18 | ← 1, Taget Pos(2) | Bool | %Q1.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 19 | ← 1, Taget Pos(3) | Bool | %Q1.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20 | ← 1, Taget Pos(4) | Bool | %Q1.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 21 | ← 1, Taget Pos(5) | Bool | %Q1.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 64. Tags de entrada y salida

La generación de variables globales, también denominadas marcas, resulta sumamente beneficiosa, ya que mediante ellas se puede vincular datos de un bloque

de datos FB a otro sin requerir el acceso a un DB para extraer dicha información. Además, estas marcas se emplean para exportar a sistemas de monitoreo como SCADA o HMI, donde pueden ser leídas o escritas según la configuración de la programación.

| | Nombre | Tipo de datos | Dirección ▲ | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... |
|----|------------------------|---------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 22 | K | Bool | %M0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 23 | System_Byte | Byte | %MB1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 24 | Target Pos | Int | %MW1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 25 | FirstScan | Bool | %M1.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 26 | DiagStatusUpdate | Bool | %M1.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 27 | AlwaysTRUE | Bool | %M1.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 28 | AlwaysFALSE | Bool | %M1.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 29 | Sensor capacitivo BOOL | Bool | %M3.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 30 | CAJA | Bool | %M3.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 31 | START | Bool | %M5.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 32 | STOP | Bool | %M5.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 33 | RESET | Bool | %M5.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 34 | ALMC | Bool | %M7.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 35 | REUB | Bool | %M7.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 36 | LLENO | Bool | %M7.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 37 | Habilitar | Bool | %M7.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 38 | RECUPERAR_1 | Bool | %M7.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 39 | RECUPERAR_2 | Bool | %M7.7 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 40 | Indice_P | Int | %MW40 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 41 | Indice_M | Int | %MW42 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 42 | Indice_G | Int | %MW44 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 43 | IndiceX | Int | %MW46 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 44 | Catd_doc_p | Int | %MW52 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 65. Tags globales (Marcas).

| Tabla de variables_1 | | | | | | | |
|----------------------|-----------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Nombre | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... |
| 1 | CAJAG | Bool | %M6.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2 | CAJAM | Bool | %M6.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | CAJAP | Bool | %M6.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | Cantidad | Int | %MW48 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | Inicio_R | Bool | %M6.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | Catd_oc_p | Int | %MW50 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7 | Enable | Bool | %M7.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8 | <Agregar> | | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 66. Tags adicionales para monitoreo y control del proyecto.

3.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El proyecto de almacenamiento automatizado de cajas se enfoca en diferentes etapas, los cuales son el transporte de los productos, el censado de los productos, la clasificación y la recuperación respectivamente.

Este sistema sigue el principio de almacenamiento FIFO (primero en entrar, primero en salir), y además incluye la capacidad de clasificar por grupos de tandas, basándose en el tiempo de almacenamiento. Cuando un grupo de cajas se almacena, se le asigna un número de tanda, lo que garantiza el cumplimiento del método FIFO.

Por lo tanto, no se recuperarán las cajas de la segunda tanda hasta que se hayan recuperado todas las cajas de la primera.

La operación del sistema está diseñada para ser completamente automática, sin necesidad de intervención humana. Por este motivo, solo se han incluido tres botones: uno para iniciar el sistema, otro para detenerlo si es necesario y un tercero para restablecer los valores. Además, se ha previsto un botón de emergencia, el cual debe estar activo lógicamente mientras no se presione. En el momento en que se presiona el botón de emergencia, se desactiva por completo el sistema.

3.2.4.1 Primera etapa: Traslado de cajas.

El software TIA Portal ofrece la posibilidad de programar utilizando bloques de función, programar una función o bloques de organización. Se decidió utilizar bloques de función debido a que generan un bloque de datos DB una vez que el programa ha sido compilado. Además, permiten la retención de datos, lo cual es crucial para la automatización del sistema.

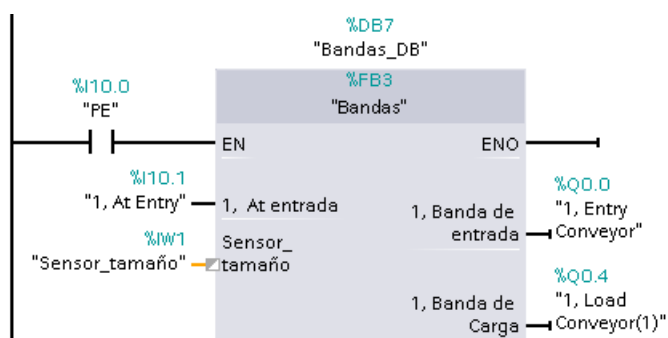


Figura 67. Bloque de datos de la función Bandas.

Después de iniciar el sistema, este procede con el traslado de las cajas, iniciando con la detección de una caja a través de un sensor retroreflectivo de lógica inversa NC, indicando así su ingreso a la etapa de almacenamiento. Una vez detectada, la banda transportadora de rodillos se activa automáticamente, este se detiene hasta que es censado por el sensor de tamaño que se encuentra al final del transportador de rodillos. Como se observa en la figura 72 este necesita de las señales del sensor %I10.1, %IW1 para controlar las salidas Q0.0 y Q0.4 pertenecientes a los transportadores de rodillos (ver figura 67).

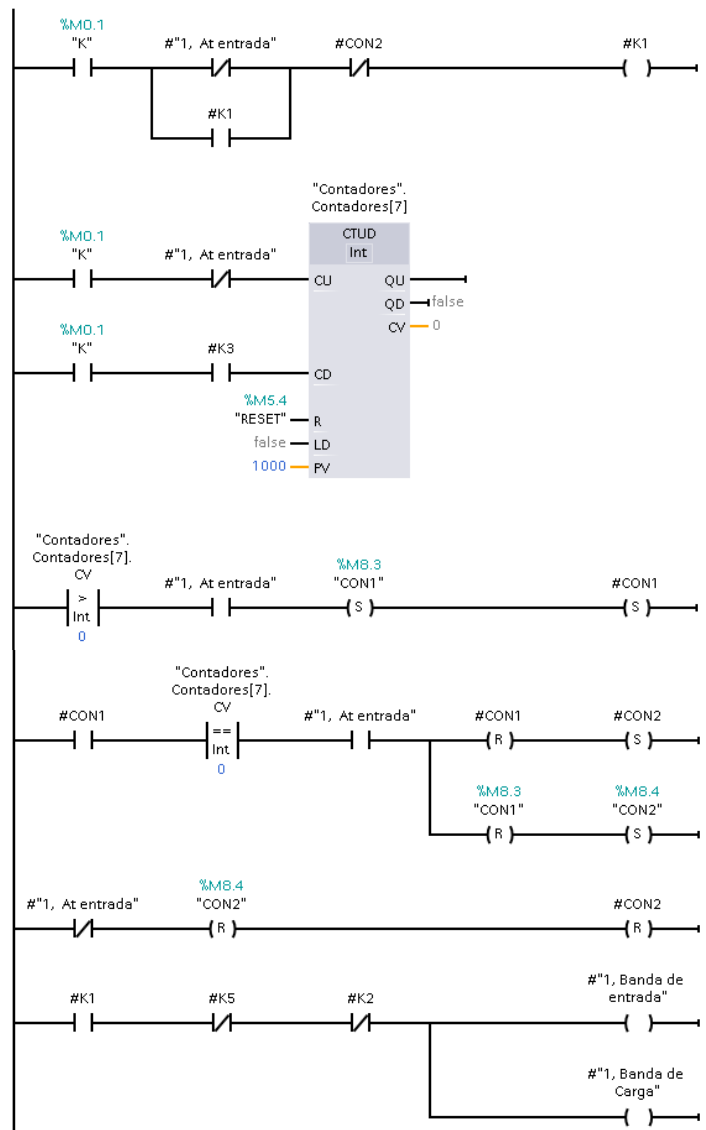


Figura 68. Lógica de programación de los transportadores.

A través de un contador, se ejerce control sobre la cantidad de cajas presentes en el transportador, asegurando que la cantidad de cajas que ingresan sea igual a la cantidad que se almacena. Se ha establecido una capacidad máxima de 4 palets de cajas simultáneamente sobre el transportador. En la segunda etapa del proceso, se lleva a cabo la detección y clasificación de las cajas. Un aspecto ampliamente utilizado en el sistema es la función SET y RESET para la retención, particularmente en la programación en lenguaje Ladder. Además, se ha recurrido extensamente a la programación en SCL, especialmente en casos donde la programación en Ladder

resultaba más compleja, dado que en SCL (Structured Control Language), resulta más sencillo de implementar (Ver figura 68).

3.2.4.2 Segunda etapa: Almacenamiento de cajas.

Esta etapa se extiende, ya que involucra la consideración de diversos aspectos, como la disponibilidad de espacios y estanterías, los tipos de productos almacenados, la metodología de almacenamiento, así como el proceso de clasificación y ubicación en las estanterías.

Por ese motivo se decide establecer un tipo de dato a los espacios de las estanterías de esa manera se facilita consultar de manera efectiva, si se encuentra ocupado o desocupado y a que tanda pertenece (Ver figura 69).

| lugares | | | |
|---------|------------|---------------|---------------|
| | Nombre | Tipo de datos | Valor predet. |
| 1 | ocupado | Bool | false |
| 2 | desocupado | Bool | true |
| 3 | Tanda | Int | 0 |

Figura 69. Tipo de dato “lugares” para espacios de estanterías.

Después de definir el tipo de dato, se procede a crear una base de datos (Casillas) dedicada exclusivamente para asignar a cada espacio el tipo de dato "lugares". Dado que se pretende clasificar en tres grupos distintos, se deben crear tres grupos diferentes de este dato: uno para las cajas pequeñas, otro para las de tamaño mediano y otro para las grandes. Además, se requiere crear un segundo grupo de datos para la estantería 2.

| Casillas | | | | |
|----------|---------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| | Nombre | Tipo de datos | Valor de arran... | Remanen... |
| 1 | Static | | | <input type="checkbox"/> |
| 2 | lugares_P | Array[0..19] ... | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | lugares_P[0] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | ocupado | Bool | false | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | desocupado | Bool | true | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | Tanda | Int | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7 | lugares_P[1] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8 | lugares_P[2] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9 | lugares_P[3] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | lugares_P[4] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11 | lugares_P[5] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12 | lugares_P[6] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13 | lugares_P[7] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14 | lugares_P[8] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15 | lugares_P[9] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16 | lugares_P[10] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17 | lugares_P[11] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18 | lugares_P[12] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 19 | lugares_P[13] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20 | lugares_P[14] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 21 | lugares_P[15] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 22 | lugares_P[16] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 23 | lugares_P[17] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 24 | lugares_P[18] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 25 | lugares_P[19] | "lugares" | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 26 | lugares_P2 | Array[0..19] of "lug... | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 27 | lugares_M | Array[0..19] of "lug... | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 28 | lugares_M2 | Array[0..19] of "lug... | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 29 | lugares_G | Array[0..19] of "lug... | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 30 | lugares_G2 | Array[0..19] of "lug... | | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 70. Base de datos “Casillas”.

Para mayor facilidad se crea un array de 18 espacios pertenecientes a los 18 casilleros disponibles para almacenar productos de ese tipo. Cada uno de los espacios tiene asignado el tipo de dato creado “lugares” (Ver figura 70).

El transelevador envía la cabina de transporte a una posición mediante 6 señales estas funcionan, enviando desde el controlador el número binario de la posición donde se envía el producto, debido a que la programación se usa números enteros se debe crear una función que me permita obtener los números binarios desde un número entero y enviar esas señales al transelevador.

Debido a la complicidad de realizar tal función en lenguaje Ladder se procedió a programar en lenguaje SCL.

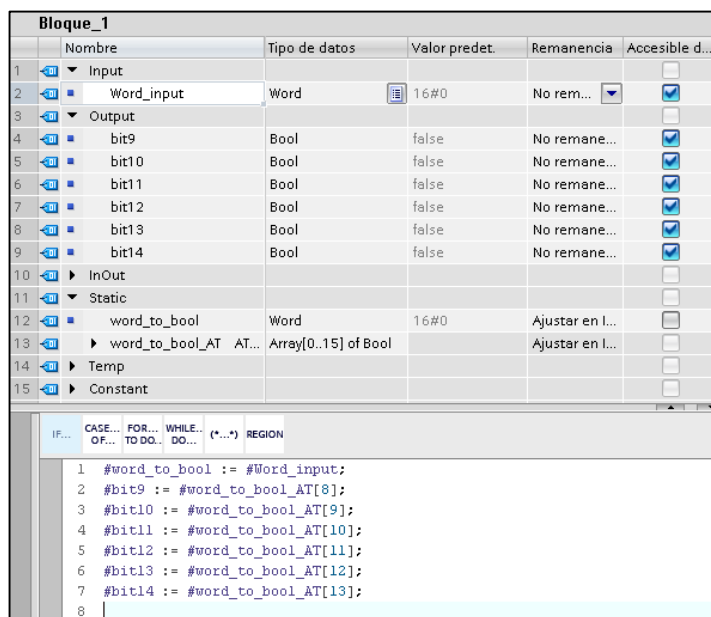


Figura 71. Función para obtener número binario de un entero.

El número entero se almacena en una variable tipo Word, este a su vez es asignado a una variable de tipo AT que permite obtener el valor en bits en un array, cada uno de los bits es asignado a un nuevo valor. De esa manera se puede obtener el número binario y enviarlo desde el PLC al transelevador (Ver figura 71).

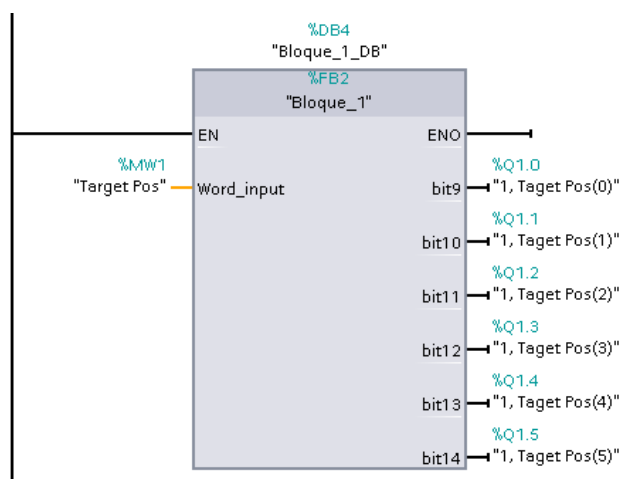


Figura 72. Bloque de función para obtener el número binario de un entero.

Con la función creada, la programación se facilita al trabajar con números enteros. Como se mencionó anteriormente, el transelevador envía la cabina a una posición determinada dependiendo del número que se envíe. Dado que los espacios de las estanterías están divididos en tres grupos y los números no siguen un orden perfecto,

se optó por crear una base de datos donde se almacenan específicamente las posiciones de los productos según su tipo (Ver figura 73).

| Ubicaciones | | | | | |
|-------------|-------------|---------------------|--------|-------------------|-------------------------------------|
| | Nombre | Tipo de datos | Offset | Valor de erran... | Remanen... |
| 1 | Static | | | | <input type="checkbox"/> |
| 2 | CAJA_P | Array[0..19] ... | 0.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | CAJA_P2 | Array[0..19] of Int | 40.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | CAJA_P2[0] | Int | 40.0 | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | CAJA_P2[1] | Int | 42.0 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | CAJA_P2[2] | Int | 44.0 | 2 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7 | CAJA_P2[3] | Int | 46.0 | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8 | CAJA_P2[4] | Int | 48.0 | 10 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9 | CAJA_P2[5] | Int | 50.0 | 11 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | CAJA_P2[6] | Int | 52.0 | 12 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11 | CAJA_P2[7] | Int | 54.0 | 19 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12 | CAJA_P2[8] | Int | 56.0 | 20 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13 | CAJA_P2[9] | Int | 58.0 | 21 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14 | CAJA_P2[10] | Int | 60.0 | 28 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15 | CAJA_P2[11] | Int | 62.0 | 29 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16 | CAJA_P2[12] | Int | 64.0 | 30 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17 | CAJA_P2[13] | Int | 66.0 | 37 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18 | CAJA_P2[14] | Int | 68.0 | 38 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 19 | CAJA_P2[15] | Int | 70.0 | 39 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20 | CAJA_P2[16] | Int | 72.0 | 46 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 21 | CAJA_P2[17] | Int | 74.0 | 47 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 22 | CAJA_P2[18] | Int | 76.0 | 48 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 23 | CAJA_P2[19] | Int | 78.0 | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 24 | CAJA_M | Array[0..19] of Int | 80.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 25 | CAJA_M2 | Array[0..19] of Int | 120.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 26 | CAJA_G | Array[0..19] of Int | 160.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 27 | CAJA_G2 | Array[0..19] of Int | 200.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 28 | INDICE | Array[0..3] of Int | 240.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 73. Base de datos “Ubicaciones”.

Esta base de datos tiene desactivada la propiedad de optimización de bloque debido a que se necesita enviar los datos desde el PLC al sistema SCADA, y para ser reconocidos se debe saber la dirección de memoria (offset) que solo se activa cuando esta desactivada dicha propiedad.

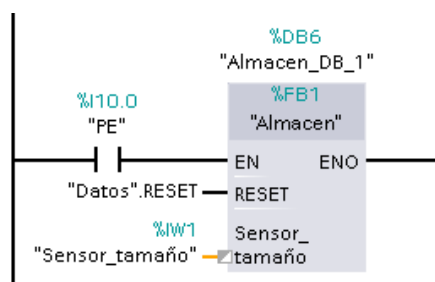


Figura 74. Bloque de función “Almacén”.

Una vez creado todos los datos necesarios, se procede a crear la lógica de programación para el almacenamiento de los productos.

En esta fase, se tiene en cuenta el sensor de tamaño, que marca el final del proceso de traslado y el comienzo del proceso de almacenamiento. Cuando los productos pasan por el sensor, este envía una señal en forma de número entero que varía según el tamaño. Antes de llevar a cabo la programación, se realizan pruebas para determinar el número exacto en función del tipo de caja. Para las cajas pequeñas, el sensor envía un número entero de 128, mientras que, para las cajas medianas, este número es de 192. En el caso de las cajas grandes, el PLC recibe un número de 224. Es importante destacar que estos datos también tienen en cuenta la presencia de palets (ver figura 75).

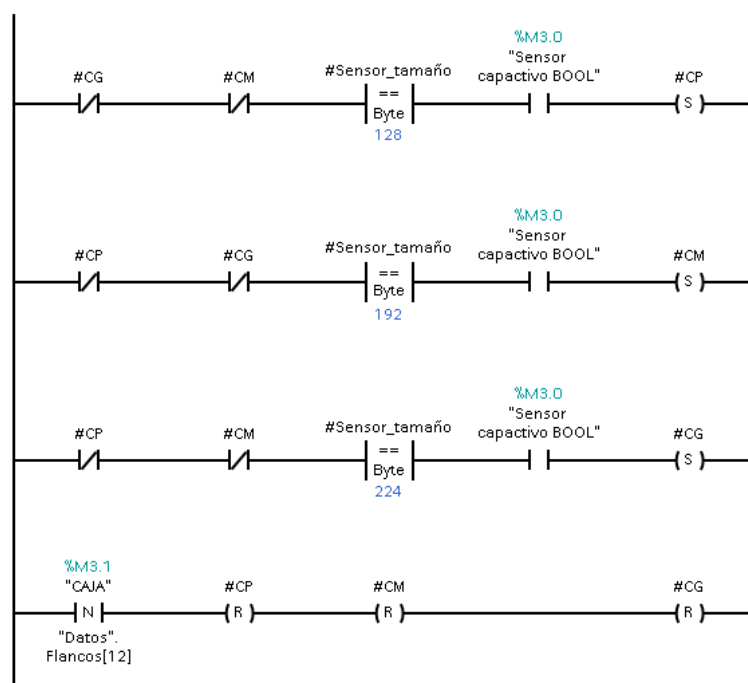


Figura 75. Censado de los productos.

Una vez obtenidos estos valores, se procede con la programación, siendo crucial que el transelevador se encuentre en su posición inicial y sin movimiento. Para esto, el sensor capacitivo desempeña un papel fundamental, ya que indica este estado. Con esta premisa clara, se utiliza un contacto de comparación de igualdad para identificar y actuar cuando se detecta una caja. Cuando este valor coincide con alguno de los tres valores programados, se activa el sistema. Para evitar la activación de otras partes del código, se emplea la negación de los otros dos tipos de cajas (ver figura 75).

Es importante destacar que el sensor envía datos en tiempo real. Por lo tanto, cuando el producto es recogido, el valor detectado al inicio cambia. Para manejar esta situación, se utiliza la activación inmediata mediante la función de activación de salida (SET), lo que previene la pérdida del valor detectado inicialmente, almacenándolo temporalmente en esta etapa de la programación.

Una vez establecida la detección, se pasa a consultar la posición donde se almacenará el producto recogido. Para ello, se realiza un escaneo de todas las casillas consultando su propiedad de desocupado. Al detectar la primera casilla vacía, se toma el valor del índice como la posición libre. De esta manera, se verifica que el espacio de almacenamiento esté disponible (Ver anexo 5).

Se utiliza un bloque de función de contador para mantener un control preciso de las cajas almacenadas. Este bloque registra la cantidad de cajas que se almacenan, con un límite máximo de 18 por estantería (ver figura 76).

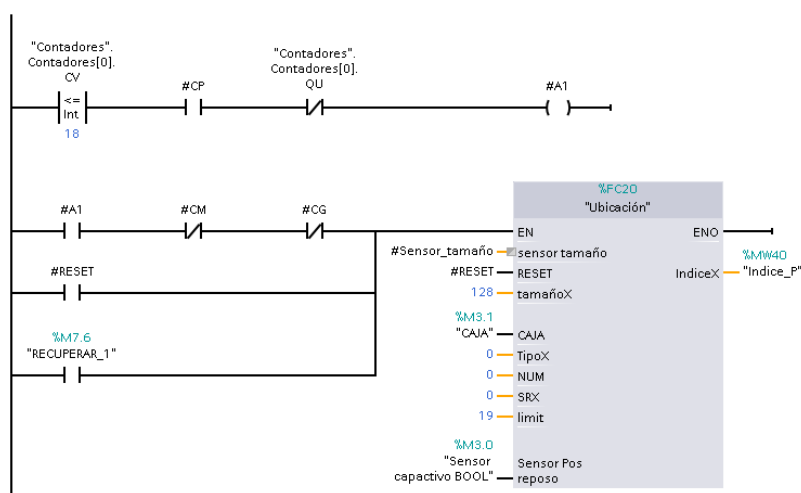


Figura 76. Programación de conteo de cajas.

Además, se emplea la creación de una función específica para esta tarea, que se repetirá para todos los tipos de cajas. Esta función se denomina "Ubicación" (Ver anexo 6).

Luego de registrar el conteo del producto se procede, registrar la casilla donde se almacena el producto con los datos de la tanda, y por ende el casillero ahora se activa en ocupado (ver anexo 7).

Es importante asegurarse de que la caja que se está almacenando esté completamente dentro de la cabina de traslado y que no se esté llevando a cabo ninguna otra acción dentro del sistema. Una vez verificados estos datos, se procede a enviar el producto a su posición de almacenamiento. Esto se logra mediante el envío del número obtenido previamente a la variable "Target Pos", que se encarga de mover la cabina hacia la posición deseada. Es relevante enfatizar que el número entero, antes de ser enviado al transelevador, pasa por un convertidor de números enteros a binarios desarrollado por el autor (ver anexo 7).

Es esencial señalar que la variable "ALMC" es de tipo global, lo cual es fundamental en el funcionamiento de los actuadores para garantizar la ejecución precisa de los pasos necesarios para el almacenamiento del producto. A lo largo de las distintas etapas, la maquinaria realiza movimientos variables según la acción específica que se esté llevando a cabo.

Para finalizar este proceso, una vez que la caja se almacena en la estantería se debe resetear los valores seteados con anterioridad como "ALMC", y las variables de las cajas detectadas como "CP", "CM" y "CG", todo eso mediante la detección del flanco negativo de la variable "CAJA"(Ver figura 77).

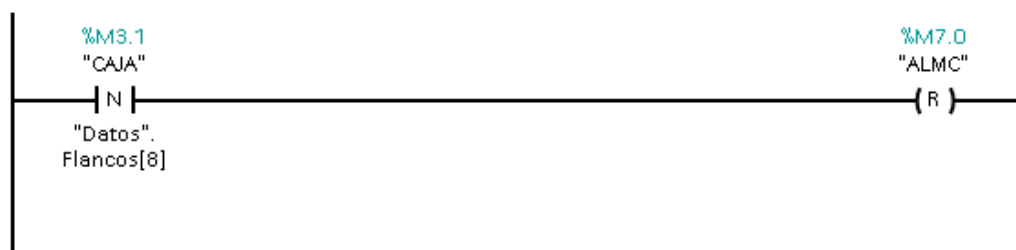


Figura 77. Reseteo de variables.

Antes de adentrarse a la programación de la recuperación de las cajas, es importante explicar la programación de los actuadores que conlleva el transelevador (ver figura 78).

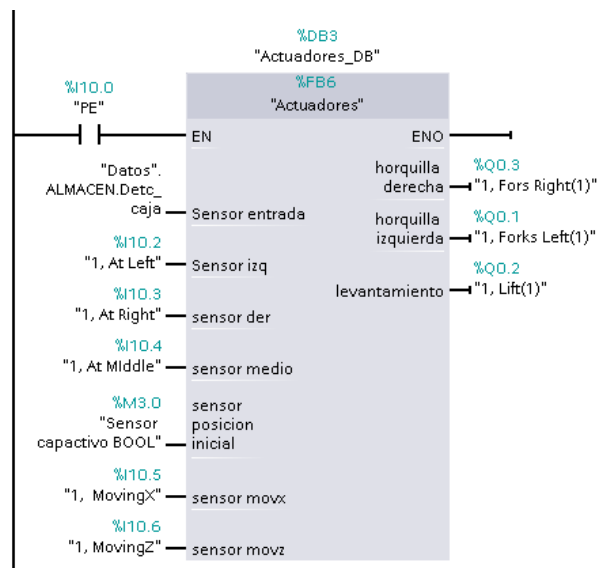


Figura 78. Bloque de función de la programación de los actuadores.

En esta ocasión se optó por utilizar la programación en lenguaje Ladder por completo en este bloque, debido a que se hacía mucho más fácil realizar la pruebas visualizando como se activaban las variables.

Además, esta programación se llevó a cabo siguiendo la metodología de máquinas secuenciales, ya que permite dividir la programación en módulos manejables y comprensibles. Esto facilita la colaboración en equipos y el mantenimiento del código. Además, el uso de máquinas de estado ayuda a optimizar el uso de recursos al eliminar la necesidad de mantener estados complejos en la memoria del controlador o reducir el número de instrucciones ejecutadas en cada ciclo [58].

Para esta programación se considera las señales de entrada, de los siguientes componentes.

- (I10.3) Sensor final de carrera horquilla derecha.
- (I10.2) Sensor final de carrera horquilla izquierda.
- (I10.4) Sensor posición medio de horquillas.
- (I10.6) Sensor de movimiento vertical (elevación).
- (I10.5) Sensor de movimiento horizontal (traslación).
- (IW1) Sensor de tamaño.
- (M3.0) Sensor de posición inicial del transelevador.

Y las salidas.

- (Q0.3) Horquilla derecha.
- (Q0.1) Horquilla izquierda.
- (Q0.2) Levantamiento.

Para iniciar el accionamiento de los actuadores y comenzar el proceso de almacenamiento, es necesario verificar que la cabina se encuentre en su posición inicial y que se haya detectado la presencia de una caja (ver figura 79).

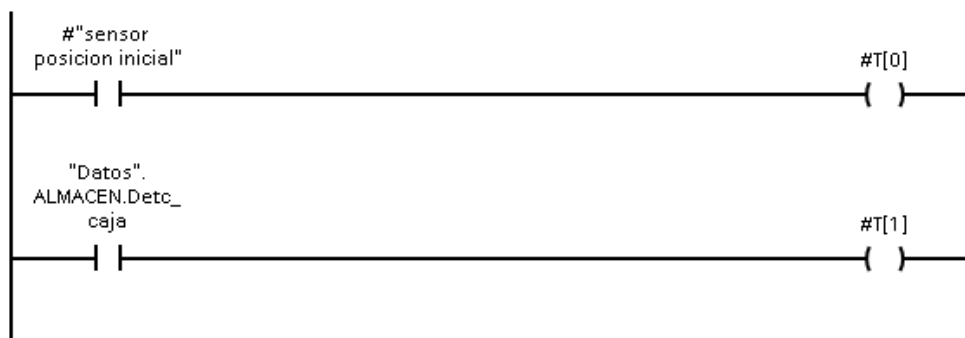


Figura 79. Programación de posición de reposo y detección de caja.

Para iniciar el proceso de almacenamiento, es imprescindible que el sistema en su totalidad esté activado. La variable que controla esta condición es la marca M0.1. Cuando esta variable se activa, se activa también el estado X[0], mientras que los demás estados permanecen inactivos para evitar errores en la programación (ver figura 80).

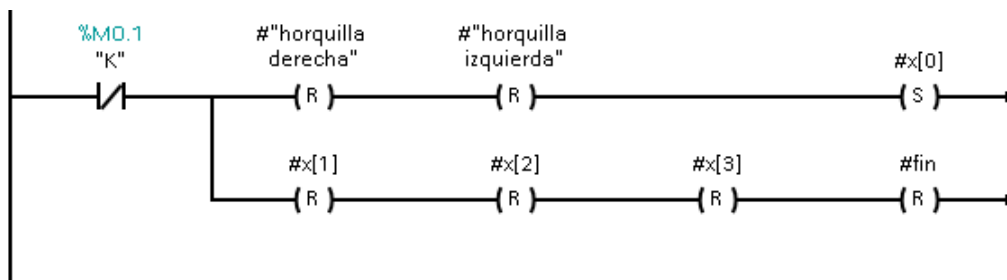


Figura 80. Inicio de etapa de almacenamiento.

Una vez que el estado X[0] está activado, se inicia una serie de verificaciones utilizando varios sensores: los sensores de final de carrera de la horquilla izquierda, el sensor de posición media de las horquillas, el sensor de posición inicial del transelevador y el sensor de detección de la caja. En esta fase inicial, se verifica que la cabina del transelevador no esté en movimiento utilizando contactos normalmente abiertos de las variables de detección de movimiento horizontal y vertical ("sensor movx", "sensor movy"). Una vez que se detecta la presencia de una caja en el transportador de rodillos, se activa la horquilla izquierda para recogerla del transportador. Esto se logra mediante la detección del sensor de final de carrera de la horquilla izquierda, que indica cuando la horquilla se ha abierto completamente (ver figura 81).

Este estado de activación de la horquilla izquierda incluye diversas condiciones para eventos específicos, como la recogida de la caja desde el transportador de rodillos o desde la estantería ubicado en el lado izquierdo del transelevador. Para esto, se emplean varias variables en paralelo, como "ALMC" que indica que se está almacenando cajas, "LLENO" indica que ambas estanterías están llenas de cajas, "RECUPERAR_1" y "RECUPERAR_2" indica la acción de recuperar cajas de cualquier estantería según corresponda, junto con la variable "CAJA". Estas condiciones determinan la activación del actuador correspondiente, y una vez cumplidas, el sistema avanza al siguiente estado para activar otros actuadores según la acción que se esté llevando a cabo (ver figura 81).

Después de detectar el tope de la horquilla derecha, se activa el siguiente estado X[1] y se desactiva el estado actual X[0] (ver figura 81).

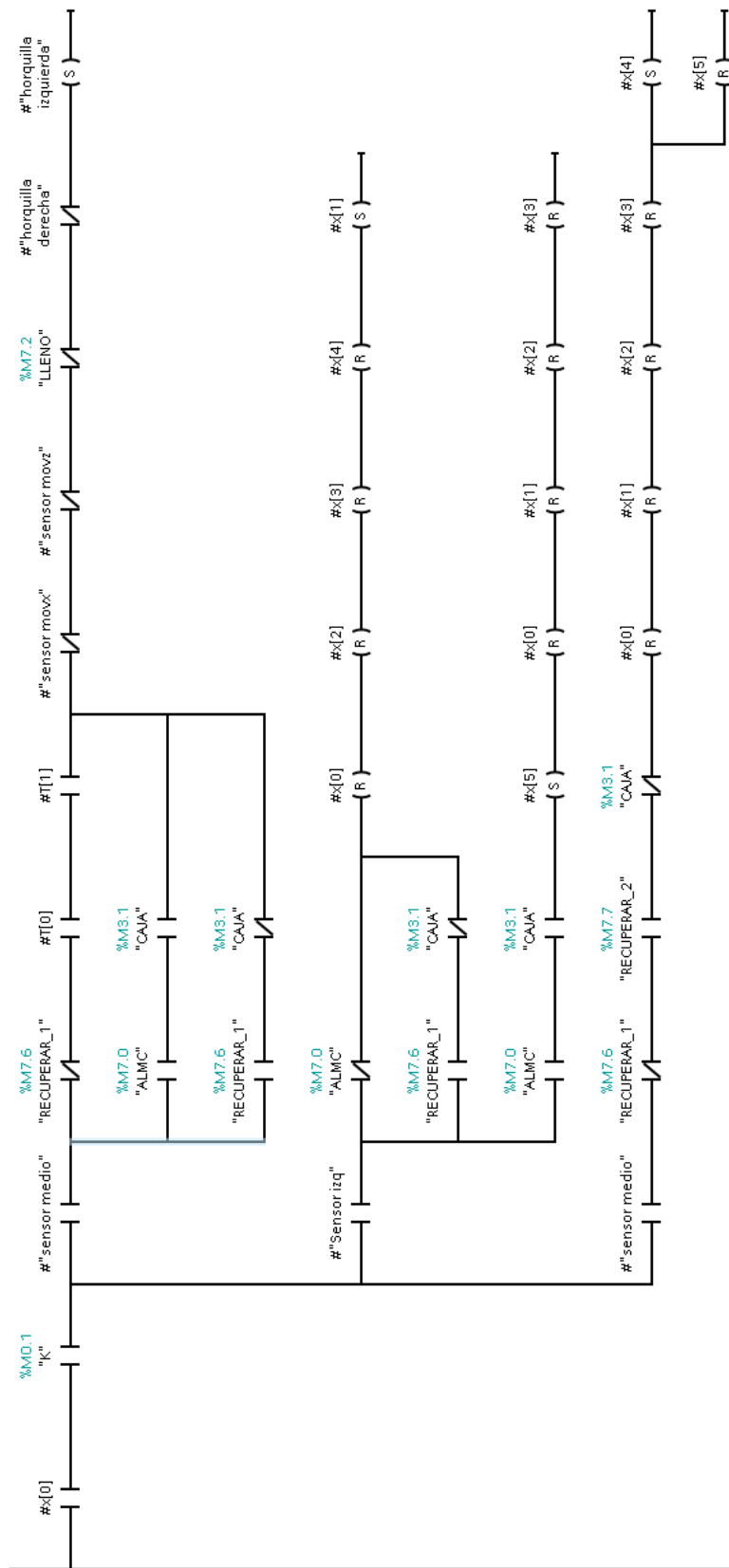


Figura 81. Primer estado del funcionamiento de los actuadores.

En el estado X[1], se lleva a cabo la acción de levantar el producto. Utilizando un flanco negativo, se detecta cuando la cabina de recolección se ha levantado por completo. En ese momento, se activa el siguiente estado, X[2], mientras que el estado actual, X[1], se desactiva (ver figura 82).

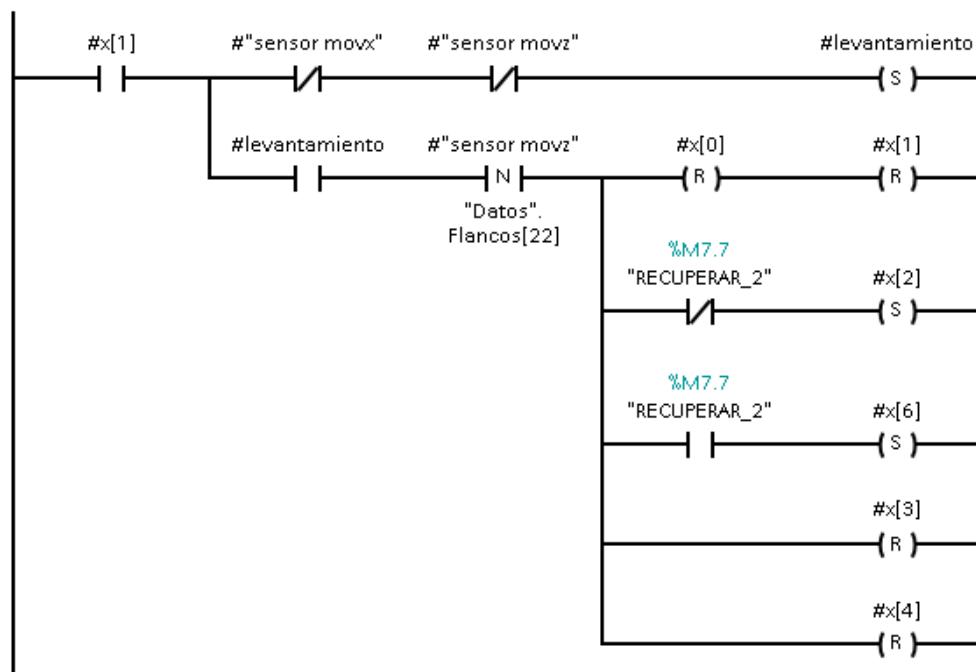


Figura 82. Estado de levantamiento.

Es necesario subrayar que la activación de los actuadores en esta fase depende de la acción específica que se esté realizando en ese momento. Por lo tanto, existen variables que condicionan la activación del actuador correspondiente (ver figura 83).

El estado X[2] corresponde a la desactivación de la horquilla izquierda. Este estado se activa una vez que se ha recogido el pallet de cajas, con el propósito de colocarlo en el centro de la cabina de recolección para garantizar la integridad del producto. Otra situación que puede activar el estado X[2] es cuando se deja el producto en la estantería 1 (ver figura 83).

Una vez que la horquilla izquierda se ha desactivado por completo, según lo detectado por el sensor que indica que la horquilla está completamente guardada, se activa el siguiente estado. Dependiendo de si se está recuperando una caja de la estantería uno, se activa el estado X[3]. En caso de que ambas estanterías estén llenas, se activa el estado X[4].

Si el estado X[3] se activa, su función es detectar que el transelevador se ha detenido después de desplazarse a cualquier posición. Esto se logra consultando los flancos negativos de los sensores de movimiento horizontal y vertical. Una vez que se detecta que el transelevador se ha detenido, el estado X[3] activa el estado X[4] y desactiva su propio estado actual X[3] (ver figura 84).

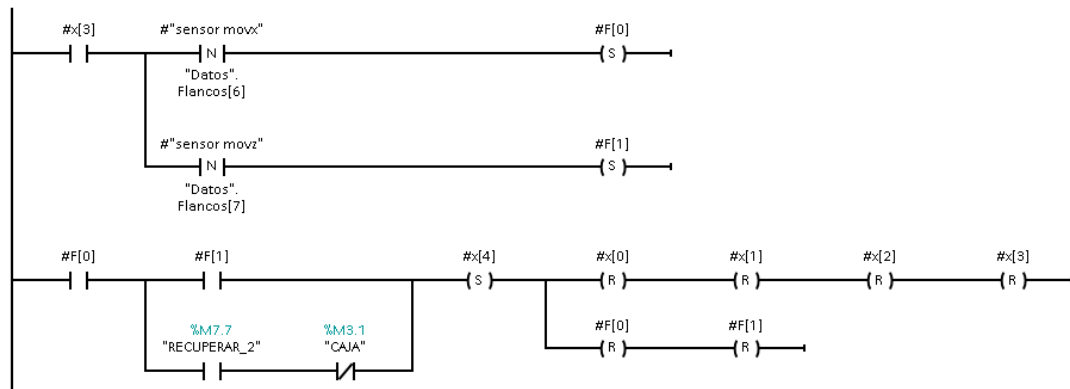


Figura 84. Estado de inmovilización de transelevador.

En el estado X[4], se procede a activar la horquilla derecha, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones. Una de las condiciones fundamentales es que el transelevador no esté en movimiento y que no se haya activado la horquilla en la dirección opuesta. Una vez que la horquilla derecha se haya activado por completo, se detecta esta acción mediante el sensor de final de carrera de la horquilla derecha (Ver figura 85).

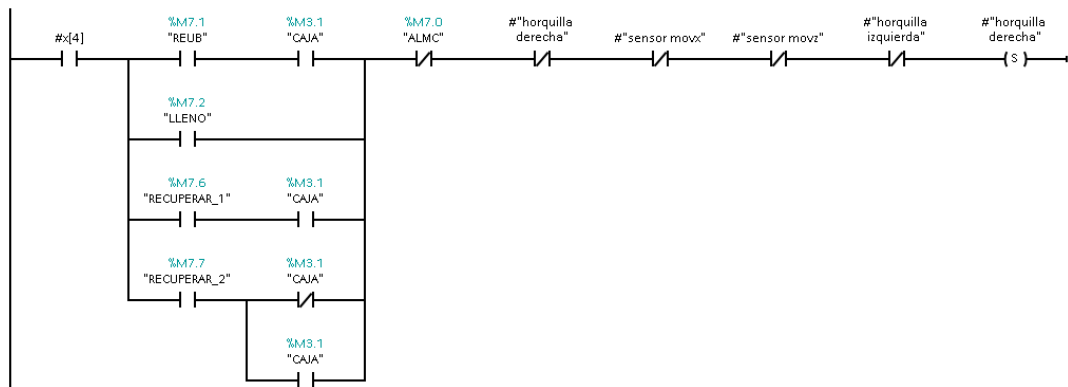


Figura 85. Estado de activación de horquilla derecha.

Si no se requiere activar la horquilla derecha, según ciertas condiciones, se activa otro estado. Por ejemplo, cuando se está almacenando una caja, no se activa la horquilla, sino que se activa el estado X[0]. Sin embargo, si es necesario activarla, cuando el sensor detecta que se ha abierto completamente, se activa el estado X[5] si se está almacenando una caja en la estantería 2, si ambas estanterías están llenas o si se han recuperado cajas de ambas estanterías. Pero si se está llevando a cabo una recuperación en la estantería 2 sin haber recogido alguna caja aún, se activa el estado X[1] (ver figura 86).

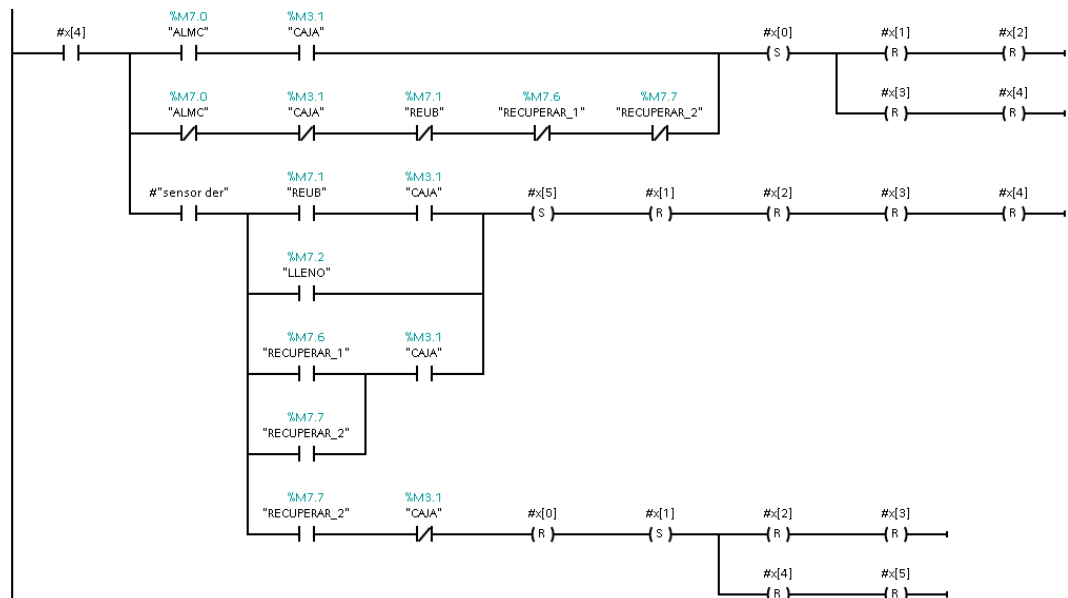


Figura 86. Desactivación de estado actual X[4].

En el estado X[5], se lleva a cabo la desactivación del levantamiento de la cabina de recolección, lo cual solo puede ocurrir si la cabina no está en movimiento. De manera similar al estado X[1], se utiliza la detección del flanco negativo para confirmar que el movimiento se ha completado por completo. Luego, dependiendo de las condiciones específicas, se activa el siguiente estado, ya sea X[2] o X[6] (ver figura 87).

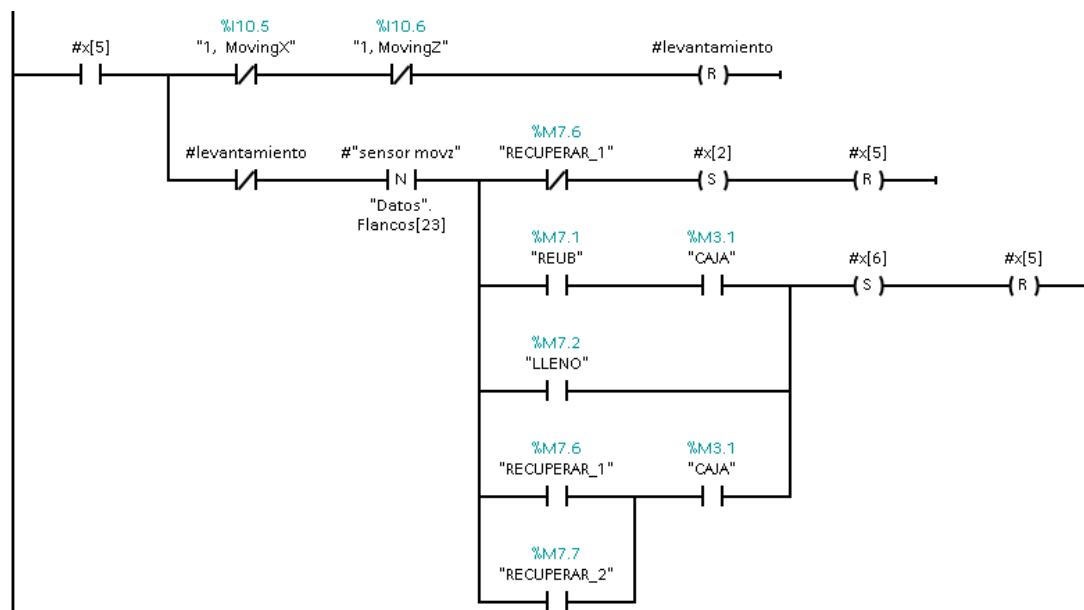


Figura 87. Estado de desactivación de levantamiento.

El ciclo se cumple con el estado X[6], si se encuentra almacenando una caja en la estantería 2 se desactiva la horquilla derecha, también se desactiva si ambas estanterías están llenas, al igual cuando se esté realizando una recuperación de caja de cualquier estantería. El sensor que detecta que la horquilla se ha guardado por completo da el visto bueno para activar el estado siguiente, X[0] si ha recuperado una caja desde la estantería 1 y X[3] se está realizando una recuperación en la estantería 2(Ver figura 88).

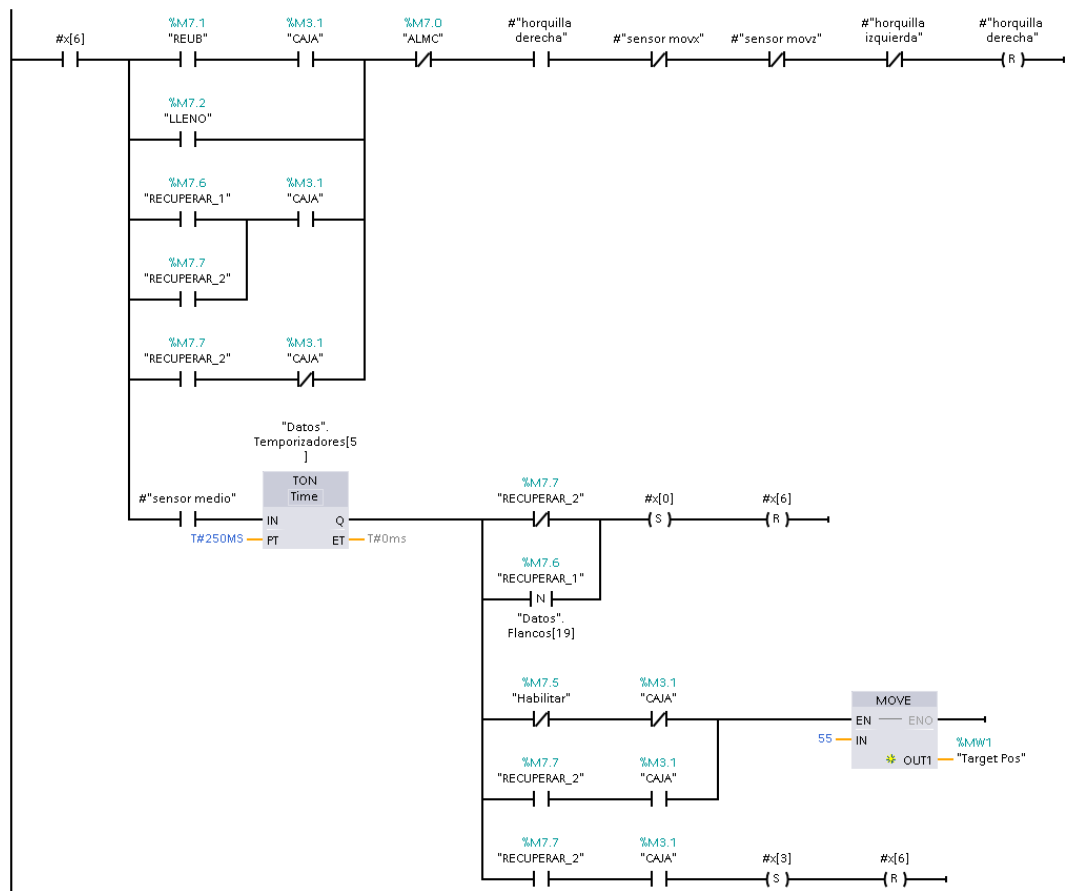


Figura 88. Estado de desactivación de horquilla derecha.

3.2.4.3 Tercera etapa: Recuperación de las cajas.

El sistema SCADA se encarga de comandar el proceso de recuperación de las cajas, ya que requiere que los datos necesarios sean ingresados a través de la pantalla. Estos datos incluyen el tipo de caja que se desea recuperar, la cantidad de cajas y el tiempo en el que deben ser recuperadas.

Para facilitar esta operación, se han creado varias marcas de control. Por ejemplo, las marcas M6.2, M6.1 y M6.0 corresponden a los botones para seleccionar cajas pequeñas, medianas o grandes respectivamente. Además, se ha creado la marca MW48 de tipo Word para ingresar la cantidad exacta de cajas a recuperar(Ver figura 89).

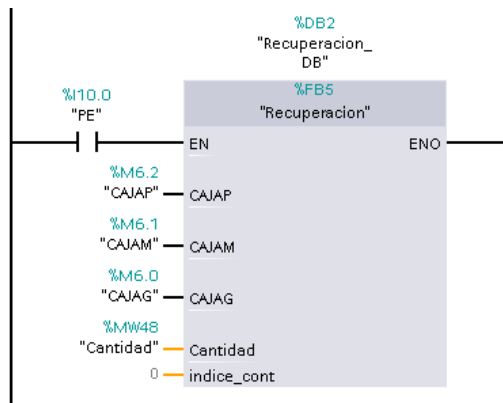


Figura 89. Bloque de función de recuperación.

También se han incluido botones para habilitar e iniciar el sistema, representados por las marcas M7.4 y M6.3 respectivamente y para la recuperación de las cajas con un tiempo programado, se utiliza la marca MW72(Ver figura 90).

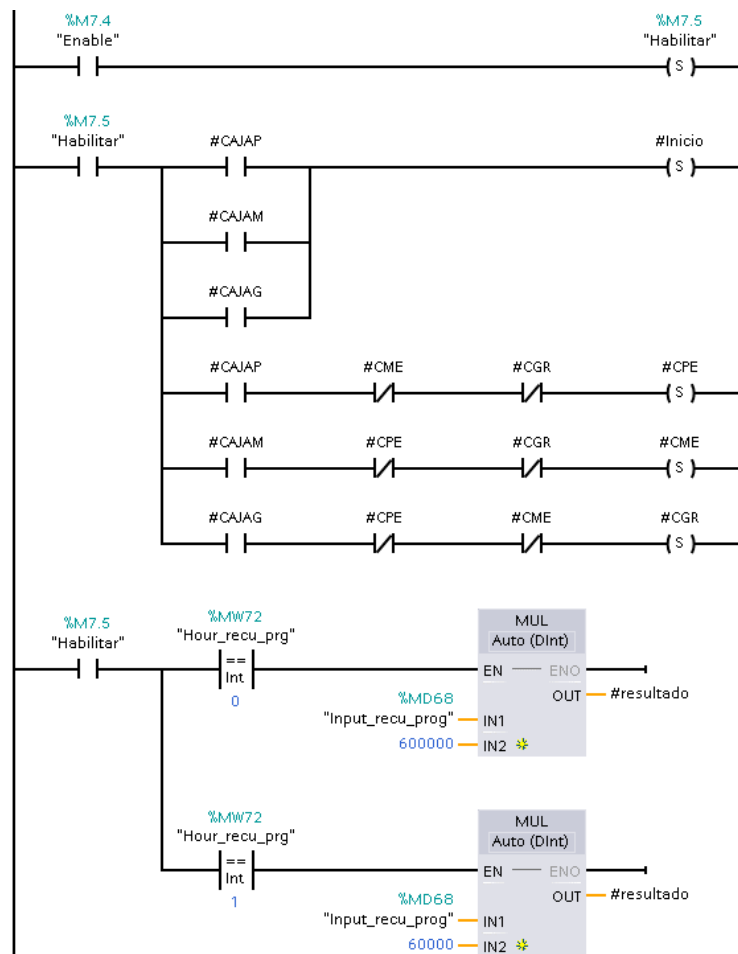


Figura 90. Programación etapa de recuperación.

Luego de seleccionar el tipo de caja a recoger, el sistema debe mostrar la cantidad disponible, para eso se muestra la siguiente programación, que consta de un barrido con la función **FOR** desde la posición 0 hasta la posición 18 de ambas estanterías consultando la propiedad de ocupado, cada que se cumpla esta condición se suma una unidad a una variable que lleva dicho conteo, al final ese dato es el que se muestra en la pantalla del SCADA. Adicional se realiza una pequeña programación para saber cuál es el número mínimo de tanda entre todas las cajas.

(ver anexo 8).

Después de seleccionar el tipo de caja y la cantidad a recuperar, se debe presionar el botón de inicio para que el sistema comience el proceso de recuperación, activando así el estado X[0] (ver figura 91).

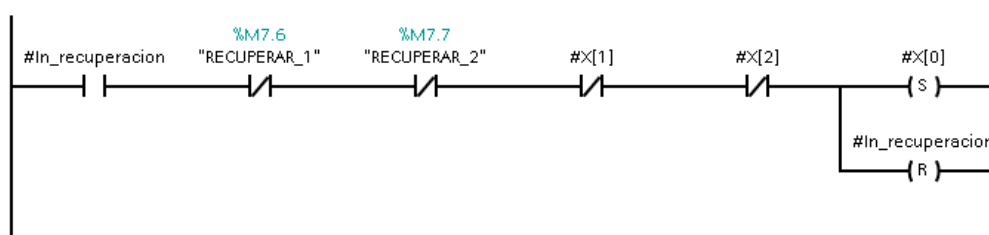


Figura 91. Inicio de la recuperación de cajas.

En este código, se determina la posición de la estantería desde la cual se recuperará la caja. Se establecen dos condiciones: que haya una caja almacenada, verificada mediante la propiedad de ocupado, y que sea la tanda más baja de todas. Si ambas condiciones se cumplen en ese índice, la variable "Pos_in_ocpd[0]" se asigna automáticamente con el número de dicho índice. El código sigue un patrón similar para todos los tipos de cajas, variando solo la consulta dentro de la base de datos de las "Casillas" correspondientes al tipo de caja seleccionado (ver anexo 9).

Luego de consultar la posición donde se verificó que haya una caja almacenada, se procede a consultar si esa posición pertenece a la estantería 1 o 2, luego se consulta el número de la posición en la base de datos "Ubicaciones" para asignarlo al "Target Pos" encargado de mover la cabina de recolección a la posición deseada (ver anexo 10).

3.2.5 DIAGRAMA DE RED DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA

La comunicación del sistema se basa en el protocolo de transferencia Profinet, mediante la cual los dispositivos se comunican a través de la red con direccionamiento 192.168.0.0/24 con su respectiva máscara de subred 255.255.255.0 y Gateway 192.168.0.1. En el siguiente diagrama se observa las diferentes direcciones IP de los diferentes dispositivos. Cabe recalcar que este diagrama solo hacer referencia a la red local.

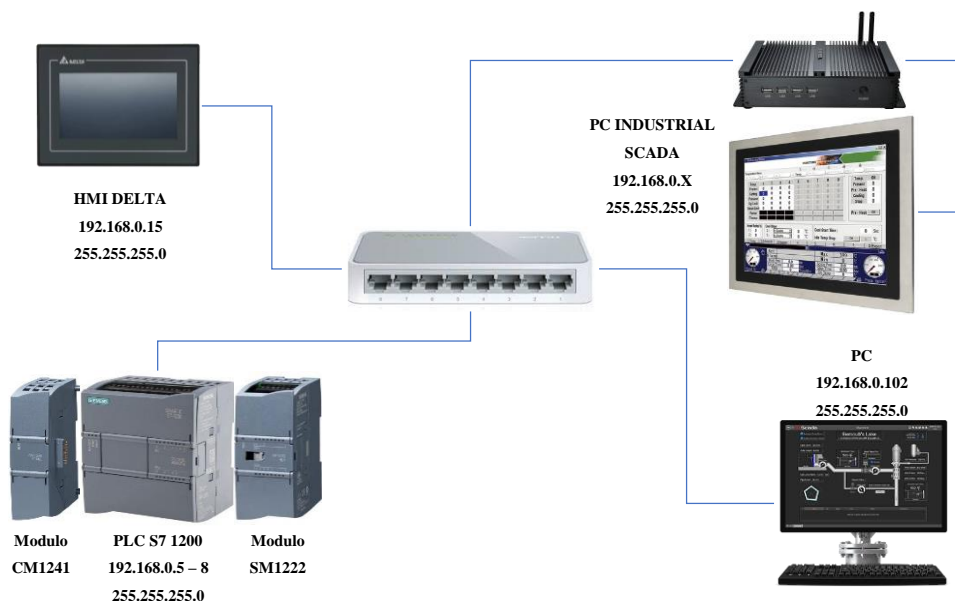


Figura 92. Diagrama de red de comunicación de datos del sistema local.

El proyecto también tiene como objetivo realizar una conexión remota, para eso se implementó una arquitectura HUB and SPOKE, haciendo uso de las diferentes plataformas y funcionalidades que nos brinda Ignition.

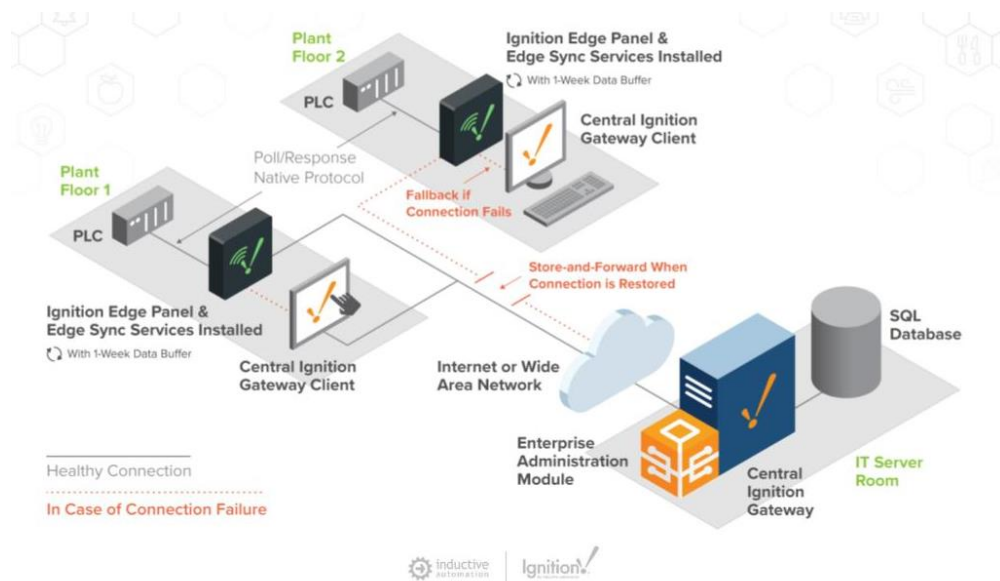


Figura 93. Arquitectura hub and spoke utilizando Ignition.
Tomado de la web de Ignition.

3.2.6 DISEÑO DE INTERFAZ SCADA

Para comunicar el PLC con la interfaz se usa el software Ignition, que permite leer marcas del controlador para usar en la pantalla. A continuación, se presenta la configuración.

3.2.6.1 CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR

Para comenzar, es necesario crear un nuevo dispositivo. Para ello, en la interfaz web de Ignition, se hace clic en “Status”, luego en “Devices”, seguido de “Configuration” y, por último, se selecciona “Create New Device” (ver figura 94).

| Name | Type | Description | Enabled | Status | | |
|----------|-----------------|----------------------|---------|--------------|--------|------|
| PLC-1200 | Siemens S7-1200 | | true | Connecting | delete | edit |
| PLC_1200 | Siemens S7-1200 | SCADA PLC - Ignition | true | Disconnected | delete | edit |

[→ Create new Device...](#)

Figura 94. Creación de nuevo dispositivo.

Después, para configurar el dispositivo y establecer la comunicación con la interfaz, se ingresa un nombre descriptivo para el dispositivo y la dirección IP del PLC con el que se desea conectar (ver figura 95).

| General | |
|-------------|--|
| Name | <input type="text" value="PLC_1200"/> |
| Description | <input type="text" value="SCADA PLC - Ignition"/> |
| Enabled | <input checked="" type="checkbox"/> (default: true) |

| Connectivity | |
|---------------|--|
| Hostname | <input type="text" value="192.168.0.8"/> |
| Local Address | <input type="text"/> Address of network adapter to connect from. (default:) |
| Timeout | <input type="text" value="2000"/> (default: 2,000) |

Show advanced properties

Figura 95. Configuración de controlador.

Luego, proceda a crear un servidor OPC, proporcionándole un nombre descriptivo. Asigne un nombre de usuario y, si es necesario, una contraseña para asegurar la conexión (ver figura 96).

| Main | |
|-------------|---|
| Name | Ignition OPC UA Server |
| Description | A "loopback" connection to the Ignit |
| Enabled | <input checked="" type="checkbox"/> (default: true) |
| Read Only | <input type="checkbox"/> If selected, the connection to this OPC server will be read-only; all calls to write will fail. (default: false) |

| Authentication | |
|------------------|--|
| Username | opcuser |
| Change Password? | <input type="checkbox"/> Check this box to change the existing password. |
| Password | |
| Password | Re-type password for verification. |

Show advanced properties

[Save Changes](#)

Figura 96. Configuración de servidor OPC.

Antes de comenzar con el diseño de las pantallas, es necesario crear un Gateway para la comunicación. Para ello, se debe dirigir a la sección "Configuración", luego se selecciona "Configuración del Gateway" y se hace clic en "Guardar". En este paso, no es necesario realizar ninguna modificación, ya que se pueden dejar todos los valores predeterminados. El nombre predeterminado se asignará automáticamente según el nombre del PC desde el cual estás realizando el diseño.

Para empezar a diseñar la interfaz SCADA o HMI se debe abrir la aplicación de diseño de Ignition, en esa ventana se da clic en "Add Designer" y se selecciona el que tenga la dirección IP de la red local o localhost, después se da clic en "Add Designer" nuevamente (ver figura 97).

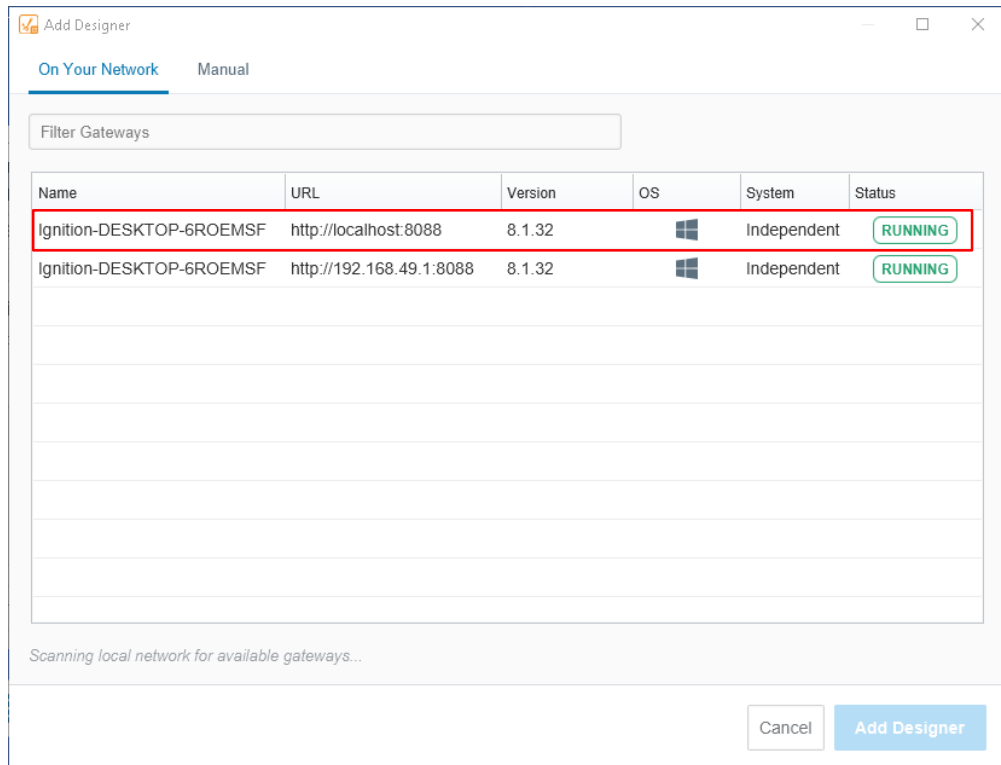


Figura 97. Ventana Agregar diseño

Una vez realizado lo anterior aparecerá el recuadro con el nombre del Gateway, se da clic en el recuadro y seguidamente el sistema pedirá un nombre de usuario y contraseña con el cual se creó la cuenta de Ignition (ver figura 98).



Figura 98. Ventana de inicio de sesión.

3.2.7 CONFIGURACIÓN DEL DISEÑADOR

Después de iniciar sesión, se abrirá una ventana donde se debe crear un nuevo proyecto. En este paso, es importante asignar un nombre al proyecto y proporcionar una breve descripción si así se desea. Una vez completado este paso, se debe abrir el proyecto recién creado y se procede a diseñar las pantallas (ver figura 99).

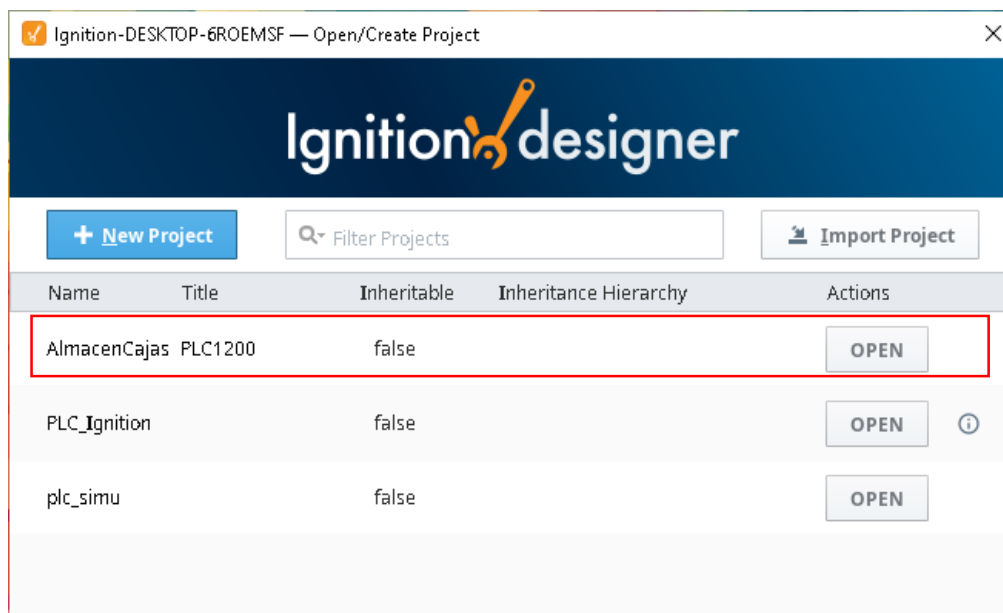


Figura 99. Ventana de proyectos.

Una vez que se ha abierto el proyecto, se procede a crear los tags que se utiliza para construir las pantallas de la interfaz SCADA. En la ventana correspondiente, se debe asignar un nombre al tag, después se selecciona el tipo de dato adecuado, se especifica el servidor OPC y la dirección del tag, la cual se encuentra en el software TIA Portal (ver figura 100).

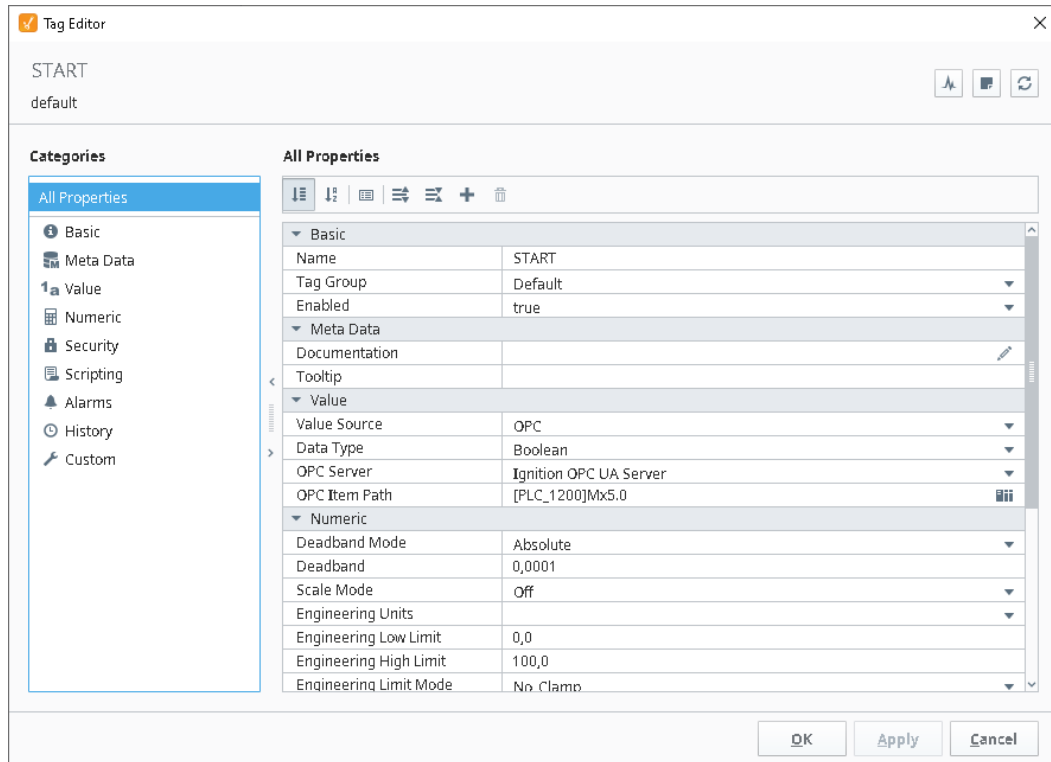


Figura 100. Creación de tags.

3.2.8 DISEÑO DE PANTALLAS.

En el software Ignition, se puede crear diseños para sistemas SCADA, HMI y también desarrollar aplicaciones móviles. Los diseños destinados a sistemas SCADA y HMI se realizan en el módulo "Vision", mientras que para las aplicaciones móviles se utiliza el módulo "Perspective".

Al acceder al sistema SCADA, se abre una ventana donde se debe ingresar el usuario y la contraseña correspondiente al rol que se tiene asignado. Es importante destacar que un administrador tiene acceso a todas las ventanas del sistema (ver figura 101).

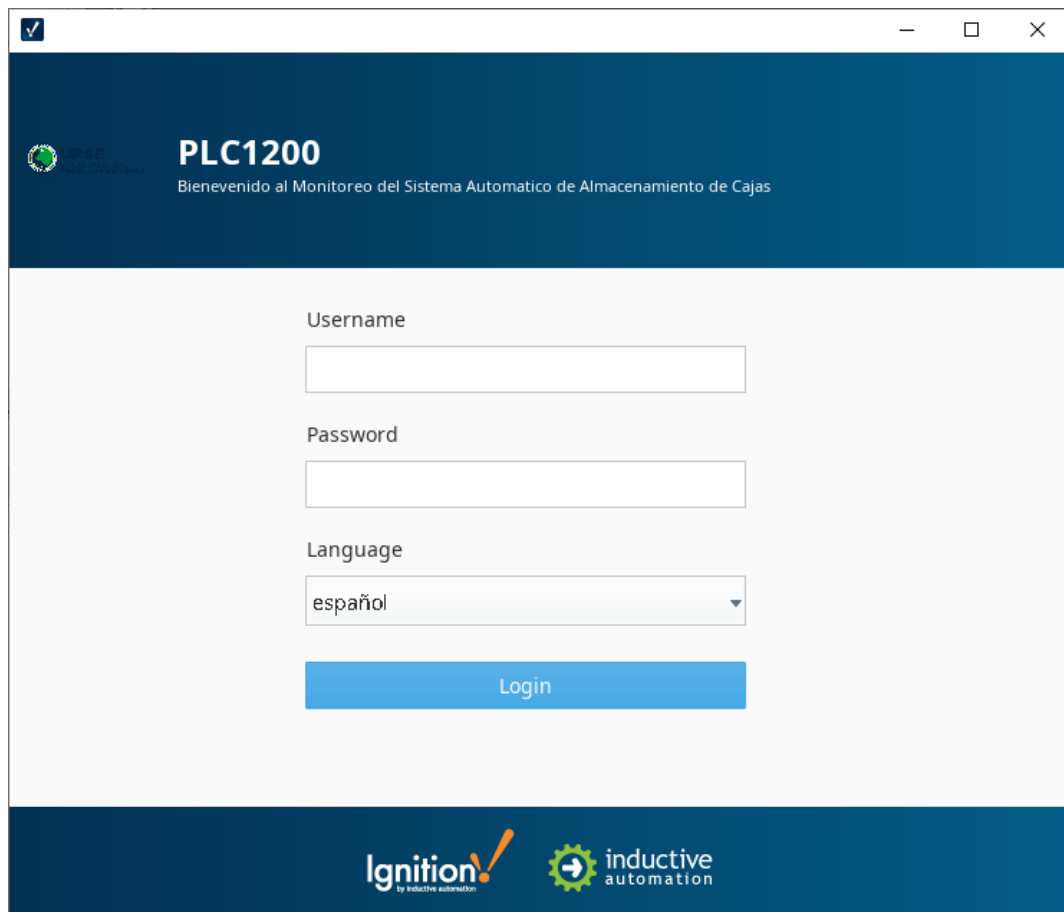


Figura 101. Ventana de Bienvenida al sistema SCADA.

En la pantalla principal, se encuentran varios elementos, tales como botones de control y ventanas de navegación, como la de usuarios, recuperación y ubicaciones. Además, se puede observar el funcionamiento de los actuadores, como los transportadores de rodillo, y la detección de la caja, representada por un indicador que se ilumina en verde cuando la caja se encuentra dentro de la cabina de recolección. También se muestran datos relevantes, como la dirección IP del controlador, el nombre y el estado de conexión del PLC (ver figura 102).



Figura 102. Pantalla principal.

Teniendo en cuenta que solo el administrador puede ingresar a todas las ventanas, este solo tiene el acceso para crear usuarios y asignar roles, como se observa en la ventana se crearon 3 usuarios de los cuales cada uno tiene asignado un role. Esto es importante ya que es fundamental garantizar el control de acceso, la seguridad, la responsabilidad y la flexibilidad del sistema, lo que contribuye a sus correcto funcionamiento y protección (ver figura 103).

En la pantalla de ubicaciones, se pueden observar en tiempo real las casillas de las estanterías divididas en tres tipos de cajas: pequeñas, medianas y grandes. Cada espacio se iluminará en verde para indicar la posición que se encuentra ocupada en ese momento. Del mismo modo, cuando un espacio esté desocupado, mostrará un cero en la casilla correspondiente (Ver figura 104).

PRINCIPAL

Users

Users

| Username | Name | Roles | Contact Info | Schedule |
|------------|-----------------|---------------|--------------|----------|
| Operator | Julio | Operator | | Always |
| admin | Ruben Gonzal... | Administrator | | Always |
| Supervisor | Luis | supervisor | | Always |

Roles

| Role name | # of Members |
|---------------|--------------|
| Administrator | 1 |
| Operator | 1 |
| supervisor | 1 |

Figura 103. Creación de usuarios y asignación de roles.

UPSE
UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA

PRINCIPAL

UBICACIONES ESTANTERÍA #1

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

CAJA G
CAJA M
CAJA P

UBICACIONES ESTANTERÍA #2

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

CAJA G
CAJA M
CAJA P

Figura 104. Posiciones de las estanterías.

En la pantalla de recuperación, se configuran los datos necesarios para recuperar las cajas almacenadas en las estanterías. Se pueden observar los botones para seleccionar el tipo de cajas, los cuales se encuentran inhabilitados, así como el botón de inicio. Para habilitarlos, es necesario presionar el botón de habilitar. Antes de realizar esta acción, es importante asegurarse de que el sistema no esté realizando otra función y se encuentre en su posición inicial (ver figura 105).

UPSE
UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA

HABILITAR INICIO PRINCIPAL

TIPO DE CAJA

CAJA P CAJA M CAJA G

CANTIDAD DE CAJAS A RECUPERAR 0

CANTIDAD DE CAJAS ALMACENADAS 0

Programar recuperacion en: 0 horas INICIO PRG

Figura 105. Pantalla de recuperación.

3.2.9 VENTANAS EMERGENTES

Cuando el sistema detecte que el botón de emergencia es presionado inmediatamente envía un mensaje de emergencia al sistema SCADA con el mensaje “BOTÓN DE EMERGENCIA PRESIONADO”. Esta ventana no se cerrará hasta que el sistema sea reestablecido nuevamente (ver figura 106).



Figura 106. Ventana emergente.

Del mismo modo, el sistema mostrará otra ventana emergente con el mensaje “CONTROLADOR DESCONECTADO” cuando detecte que el controlador ha experimentado una desconexión, ya sea por un fallo eléctrico o por intervención de personal no autorizado. Este mensaje persistirá hasta que se haya resuelto el problema (ver figura 107).

Se agregaron ventanas popup de confirmación, o también conocido como ventanas emergentes de confirmación, esto se implementa para evitar acciones accidentales o no deseadas al solicitar una confirmación explícita del usuario antes de realizar una acción relevante. En esta ocasión se implementa para evitar extraer cajas de las estanterías por equivocación, ya que, los botones se encuentran cercanos podría existir un clic perdido haciendo activar tal acción (ver figura 108).



Figura 107. Ventana emergente por desconexión de PLC.

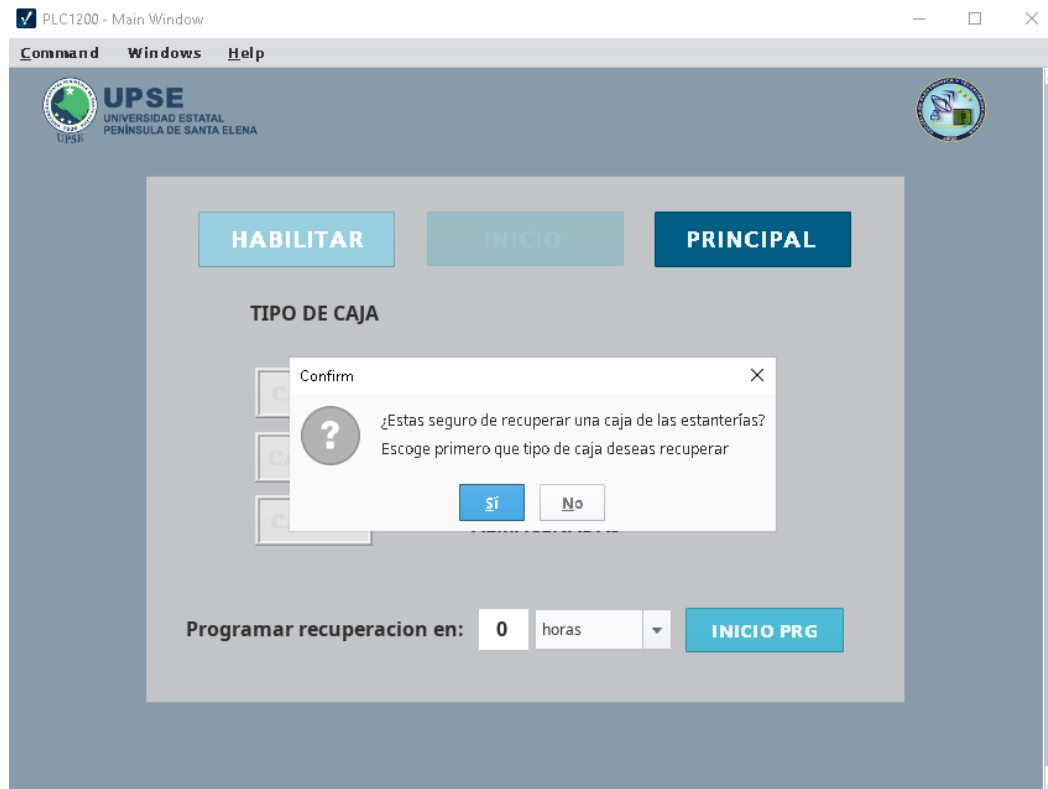


Figura 108. Ventana de confirmación.

Para el diseño de la aplicación web, que es la interfaz visualizada de forma remota, se utilizó el módulo "Perspective" de Ignition. El diseño consta de tres pestañas. Una de estas pestañas es la pantalla de control, donde se pueden iniciar y detener el sistema a través de tres botones: START, STOP y RESET. El botón RESET se utiliza para restablecer los valores de las variables (ver figura 109).



Figura 109. Pestaña de control del sistema.

La segunda pestaña se realiza el monitoreo del sistema, sobre todo de los actuadores, para verificar su correcto funcionamiento, como los transportadores de rodillos, y el funcionamiento de la detección de cajas (ver figura 110).

La tercera pestaña se centra en la recuperación de los productos, la cual cuenta con 5 botones. El botón HABILITAR activa la pantalla de recuperación, permitiendo así la selección del tipo de caja mediante tres botones de color naranja. En la primera celda numérica se muestra la cantidad de cajas almacenadas del producto seleccionado, mientras que en la segunda celda se ingresa la cantidad a recuperar. Para iniciar la recuperación, se presiona el botón de inicio (ver figura 111).



Figura 110. Pestaña de monitoreo del sistema.

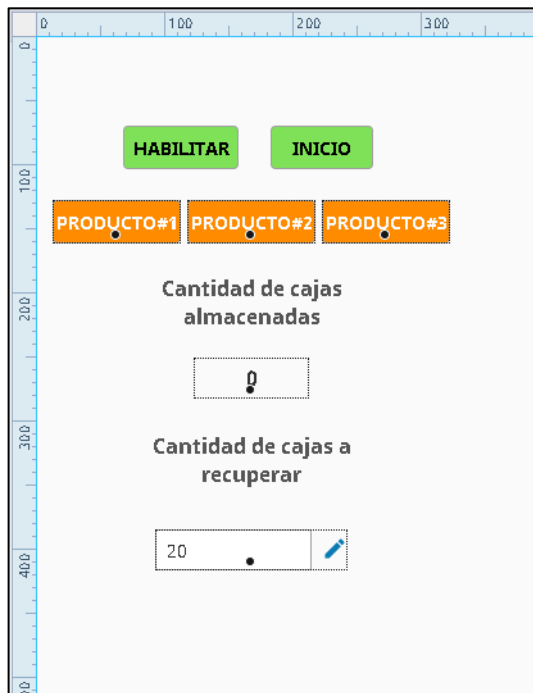


Figura 111. Pestaña recuperación.

En la pantalla principal se presentan las tres pantallas creadas, las cuales se pueden navegar mediante pestañas. Además, esta pantalla muestra el estado de conexión del PLC. El diseño de las pantallas se ha pensado principalmente para ser visualizado en dispositivos móviles como celulares o tablets, por lo que tienen un formato vertical. No obstante, también pueden ser visualizadas en PCs o laptops (ver figura 112).

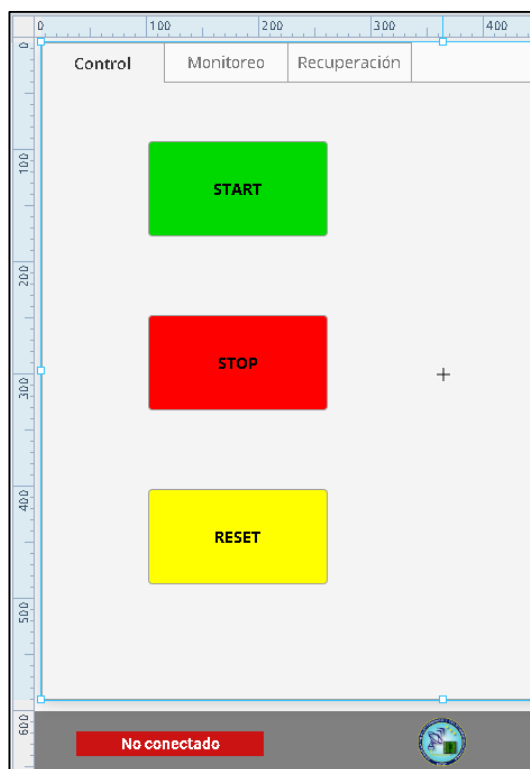


Figura 112. Pantalla general de la APP.

3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.

A continuación, se presenta un estudio sobre la factibilidad técnica y los costos asociados al proyecto para el diseño del sistema.

3.3.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA.

En el desarrollo del sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas, se emplean diversos componentes fundamentales. Estos incluyen el PLC S7 1200 de Siemens, módulos de expansión de entradas y salidas, y dispositivos de protección como interruptores automáticos, diferenciales y

guardamotors, tanto para la parte de control como para la fuerza. Además, se utilizan una variedad de sensores, como el de proximidad, finales de carrera, retroreflectivos y capacitivos. También se integran motores controlados por sus respectivos variadores para garantizar un funcionamiento preciso y eficiente del sistema.

La programación y configuración del PLC S7 1200 nos permite llevar a cabo la automatización, control y monitoreo de variables. Esto se logra mediante dos tipos de lenguajes ampliamente utilizados en el ámbito industrial, el lenguaje de programación por bloques, conocido como Ladder o escalera, y el lenguaje de programación por código SCL ambos implementados en el software TIA Portal V16.

El software Ignition Automation ofrece la capacidad de crear interfaces gráficas que se utilizan tanto en sistemas SCADA como en HMI. Esto se logra mediante la comunicación con servidores, como el servidor OPC, que facilita el intercambio de información entre dispositivos y aplicaciones de control. De esta manera, el personal autorizado puede interactuar con el sistema en tiempo real.

Además, se desarrolla una aplicación que permite el monitoreo y control remoto desde un dispositivo móvil, como un celular o una tablet. Esta aplicación utiliza el mismo software Ignition que brinda esta funcionalidad, lo que permite el acceso tanto dentro de la empresa, utilizando la red interna, como fuera de ella. Esto refleja la incursión en la implementación de tecnologías enfocadas en la industria 4.0.

La mayor parte de los equipos necesarios para el sistema automatizado se pueden adquirir en el mercado nacional, lo que hace factible realizar pruebas de funcionamiento con relativa facilidad.

3.3.2 ANÁLISIS DE COSTO DE PROYECTO.

El proyecto se enfoca en el diseño del sistema y en la simulación, por ese motivo en el caso de realizar una implementación del sistema de almacenamiento automatizado, se detallan los precios de los componentes utilizados.

COSTO DE EQUIPOS.

En la siguiente tabla se detallan los precios de los diferentes equipos que se utilizan en el sistema (ver tabla 15).

Tabla 15. Costo de equipos.

| Cantidad | Descripción | Precio x unidad | Precio Total |
|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | PLC S7 1200 CPU 1212 Ac/Dc/Rly | \$ 480.00 | \$ 480.00 |
| 1 | Módulo de salidas digitales SM1222 | \$ 180.00 | \$ 180.00 |
| 1 | Módulo de entradas digitales SM1221 | \$ 119.50 | \$ 119.50 |
| 1 | Módulo de comunicación CM 1241 RS 485 | \$ 192.75 | \$ 192.75 |
| 1 | Variador DELTA VFD075C32 | \$ 430.00 | \$ 430.00 |
| 1 | Variador DELTA VFD450C32 | \$ 1500.00 | \$ 1500.00 |
| 1 | Variador DELTA VFD750C32 | \$ 2700.00 | \$ 2700.00 |
| 6 | Luz piloto color verde VAC | \$ 1.00 | \$ 6.00 |
| 1 | Luz piloto color rojo VAC | \$ 1.00 | \$ 1.00 |
| 4 | Pulsadores NA verde | \$ 2.50 | \$ 10.00 |
| 4 | Pulsadores NC rojo | \$ 2.50 | \$ 10.00 |
| 3 | Final de carrera para horquillas | \$ 70.00 | \$ 210.00 |
| 1 | Sensor retroreflectivo | \$ 110.00 | \$ 110.00 |
| 1 | Sensor capacitivo | \$ 15.00 | \$ 15.00 |
| 1 | Motor trifásico 5,5 kW | \$ 300.00 | \$ 300.00 |
| 1 | Motor trifásico 37 kW | \$ 1700.00 | \$ 1700.00 |
| 1 | Motor trifásico 55 kW | \$ 2400.00 | \$ 2400.00 |
| 1 | Elementos de protección | \$ 600.00 | \$ 600.00 |
| TOTAL | | | \$ 14474.25 |

COSTOS DE ESTRUCTURA

Los precios de las maquinarias como los transelevadores, transportadores y estanterías deben consultarse directamente con la empresa proveedora, ya que estos pueden variar dependiendo del proveedor y de las especificaciones del equipo requerido.

Tabla 16. Costos de estructura.

| Cantidad | Descripción | Precio x unidad | Precio total |
|-----------------|---------------------------------|------------------------|---------------------|
| 15 | Borneras portafusibles | \$ 3.00 | \$ 45.00 |
| 10 | Borneras simples | \$ 0.50 | \$ 5.00 |
| 5m | Canaletas | \$ 2.25 | \$ 11.25 |
| 1 | Panel eléctrico 800x1800x600 mm | \$ 400.00 | \$ 400.00 |
| TOTAL | | | \$ 461.00 |

COSTO FINAL

Tabla 17. Costo final.

| Descripción | Precio total |
|----------------------|---------------------|
| Costo de equipos | \$ 14474.25 |
| Costos de estructura | \$ 461.00 |
| Costo de Software | \$ 1000.00 |
| TOTAL | \$ 15935.25 |

3.4 PRUEBAS Y RESULTADOS

3.4.1 Pruebas de la red de comunicación del sistema

Para llevar a cabo la prueba de conexión de los dispositivos, se abre la ventana de comandos de nuestro PC (cmd) y se utiliza el comando ping seguido de la dirección IP del dispositivo (ver tabla 18) que se quiere verificar. En este caso, se realiza la verificación tanto con el PLC como con la interfaz SCADA. Para garantizar que la verificación sea exitosa, es esencial que todos los equipos estén configurados en la misma red (ver figura 113 y 114).

Tabla 18. Direcciones IP de los dispositivos.

| Equipo o Dispositivo | Dirección IP |
|-----------------------------|---------------------|
| PLC S7 1200 | 192.168.0.8 |
| PC SCADA | 192.168.0.103 |

3.4.2 Pruebas de los transportadores de rodillos.

El sistema está equipado con dos transportadores de rodillos al inicio del proceso: el transportador de entrada y de carga. Su funcionamiento se inicia cuando un sensor ubicado al principio (I10.1) detecta la presencia de una caja, y se detiene cuando dicha caja alcanza el transportador de carga para su recogida. Ambos operan simultáneamente. Durante las pruebas, se observó la activación de los bits de salida Q0.0 y Q0.4 del bloque de función "bandas". Además, es posible observar el funcionamiento mediante el SCADA, donde las figuras que representan los transportadores se iluminan en verde cuando están activos (ver figura 115).

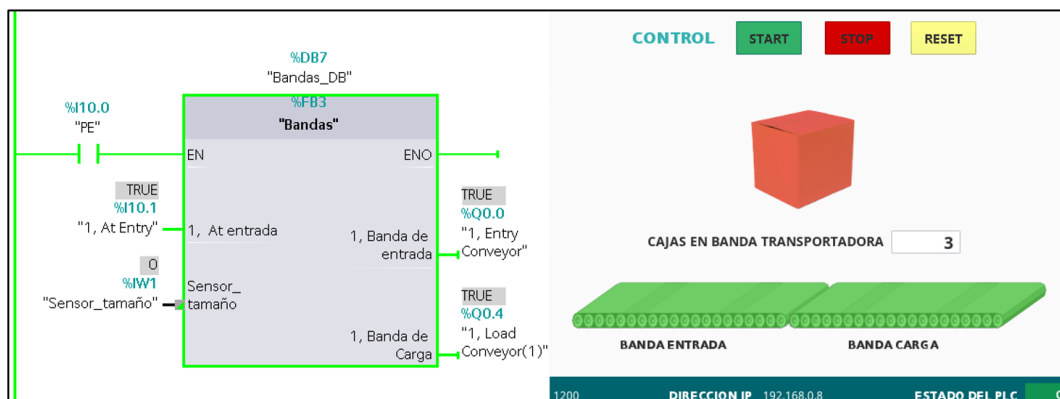


Figura 115. Activación de los transportadores de rodillos.

Una vez que una caja se encuentra en el transportador de carga, este se detiene automáticamente. La detección de la caja en este punto se realiza mediante el sensor de tamaño. En la observación realizada, el sensor detectó una caja pequeña (#128), y hasta el momento solo hay una caja sobre los transportadores que no se activarán hasta volver a detectar un nuevo ingreso (ver figura 116).

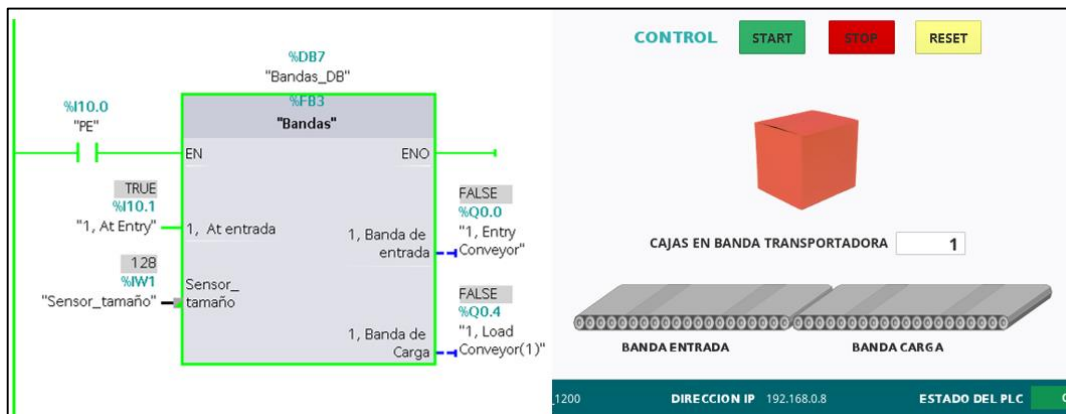


Figura 116. Desactivación temporal de transportador.

Después de que todas las cajas han sido recogidas, el contador vuelve a cero, lo que indica que no hay productos sobre el transportador. Gracias a la programación, este se detiene automáticamente en este punto (ver figura 117).

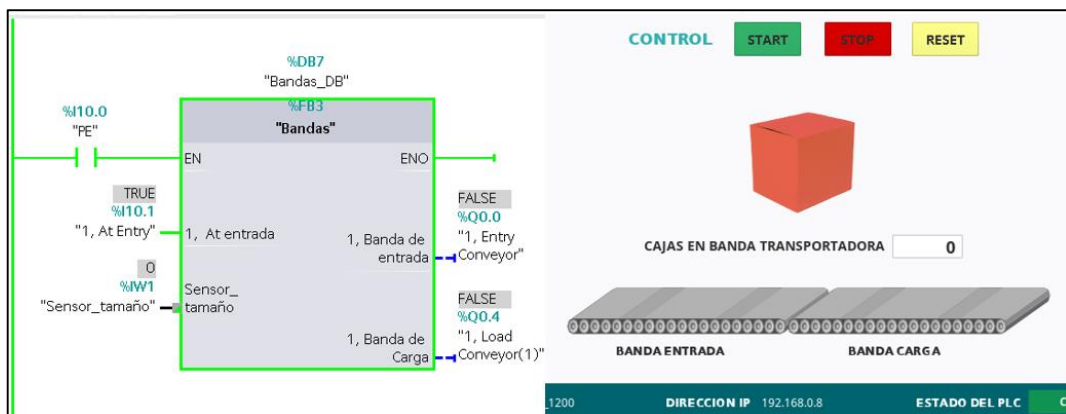


Figura 117. Desactivación completa de los transportadores.

3.4.3 Prueba del almacenamiento de las cajas.

Cuando el sistema detecta que una caja se encuentra dentro de la cabina de recolección, asigna automáticamente la ubicación donde se almacenará. Además, actualiza las propiedades de la casilla correspondiente (ver anexo 11).

Una forma adicional de verificar el funcionamiento es revisar directamente la base de datos de las casillas para confirmar si los valores se actualizan correctamente. Si los valores se actualizan según lo esperado, significa que la programación de

almacenamiento ha funcionado adecuadamente para todos los tipos de cajas (Ver figura 118).

| Casillas | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Nombre | Tipo de datos | Valor de arran... | Valor de observaci... | Remanen... | Accesible d... | Escrib... | Visible en... | Valor de ... | |
| Static | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| lugares_P | Array[0..19] of "lug... | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[0] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[1] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| ocupado | Bool | false | TRUE | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| desocupado | Bool | true | FALSE | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tanda | Int | 0 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| lugares_P[2] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| ocupado | Bool | false | TRUE | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| desocupado | Bool | true | FALSE | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tanda | Int | 0 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| lugares_P[3] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[4] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[5] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[6] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[7] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[8] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[9] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[10] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| lugares_P[11] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| ocupado | Bool | false | FALSE | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| desocupado | Bool | true | TRUE | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tanda | Int | 0 | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| lugares_P[12] | "lugares" | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 118. Base de datos Casillas.

Para asegurarse de que los lugares de las estanterías se han ocupado correctamente siguiendo un orden, pudiendo visualizarlo a través del SCADA en la pantalla de ubicaciones. Cada uno de los espacios ocupados mostrará el valor de la posición de la estantería ocupada, lo que permite confirmar que el almacenamiento se está realizando según lo esperado (ver figura 119).

La pantalla de ubicaciones del SCADA debe coincidir con la simulación realizada, con las cajas almacenadas en las estanterías (Ver anexo 12).



Figura 119. Pantalla de ubicaciones.

3.4.4 Pruebas de funcionamiento del transelevador.

EL valor enviado a la variable Target Pos se convierte en números binarios de 6bits los necesarios para activar el transelevador y enviarlo a la posición configurada en ese instante, en la siguiente figura se observa que se encuentra en la posición inicial (ver figura 120).

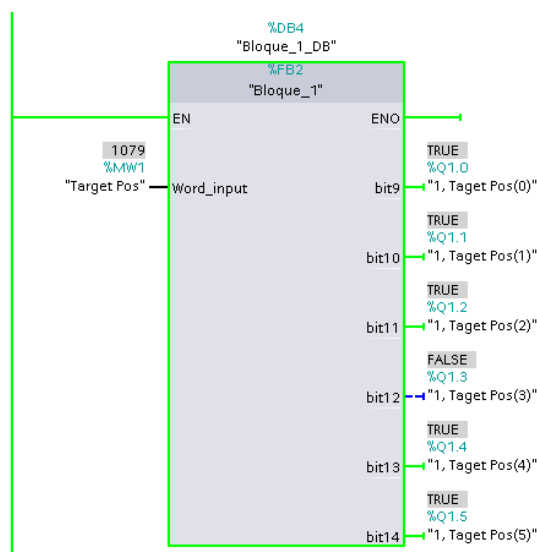


Figura 120. Transelevador en posición inicial.

Una vez determinada la posición donde se almacenará la caja, el bloque de programación activa y desactiva las salidas necesarias para movilizar el transelevador hasta la casilla deseada (ver figura 121).

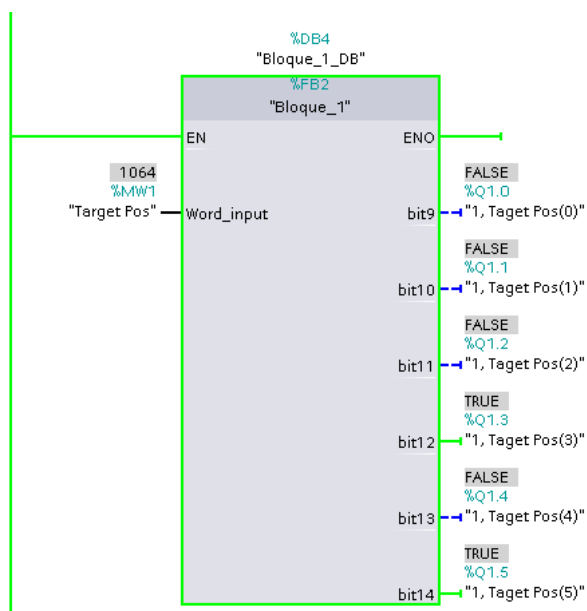


Figura 121. Transelevador a posición enviada por programación.

Prueba de la recuperación de cajas.

A través del sistema SCADA, en la pantalla llamada recuperación, se inicia el proceso de recuperación de las cajas. Primero se habilita la opción y luego se selecciona el tipo de caja deseado. En este caso, se elige recuperar cajas de tamaño mediano. Automáticamente, el sistema muestra la cantidad actual de cajas almacenadas de ese tipo, que en este caso son 14 unidades (ver figura 122).



Figura 122. Pantalla recuperación.

Entonces, se ingresa el valor "5" en el campo designado para la "cantidad de cajas a recuperar". Después de verificar este valor, se inicia el proceso de recuperación presionando el botón de "inicio". Además, existe la posibilidad de realizar esta acción con un temporizador, configurando el tiempo en horas o minutos según sea necesario (ver figura 123).

Al utilizar el SCADA y acceder a la pantalla de ubicaciones, se puede notar que las primeras casillas donde se almacenaron las cajas medianas son las primeras en ser recuperadas. Este proceso confirma que se está respetando la metodología de almacenamiento FIFO (ver figura 124).

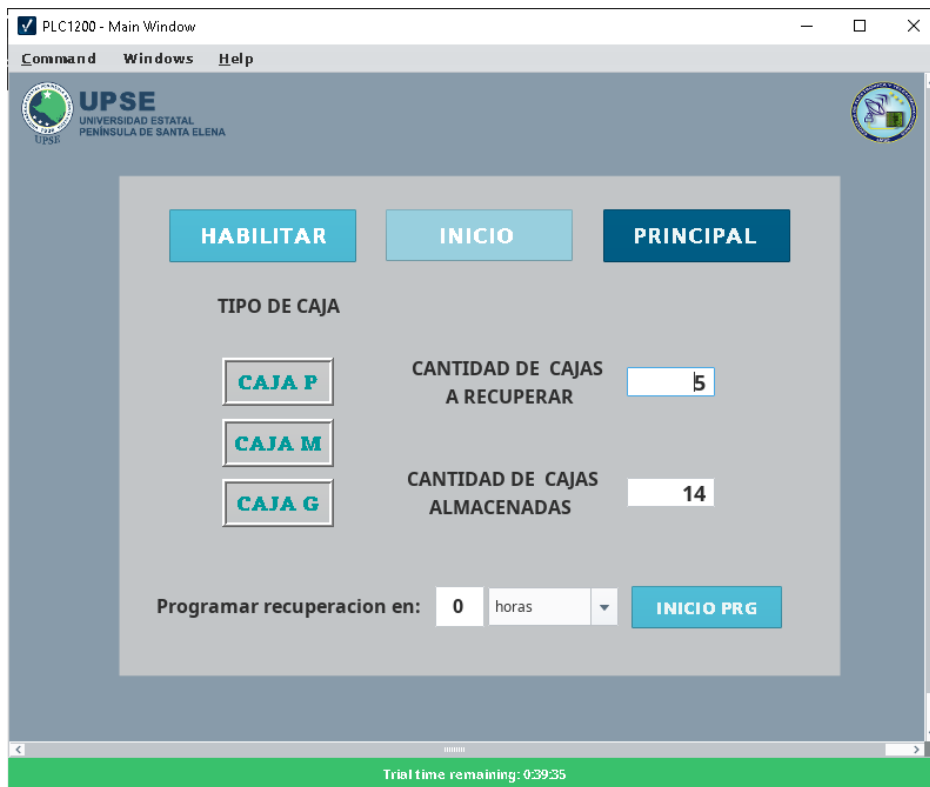


Figura 123. Recuperación de cajas.

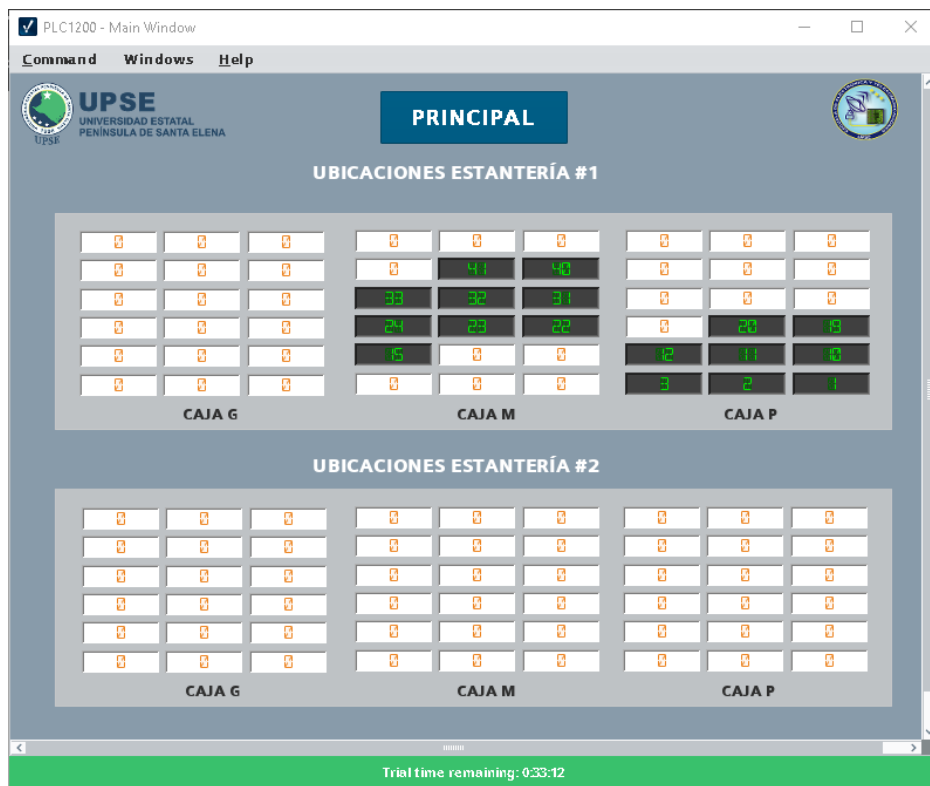


Figura 124. Observación de la recuperación de cajas.

Prueba de la plataforma remota.

La aplicación creada para el monitoreo remoto se emplea principalmente en dispositivos móviles, y se ha diseñado con una interfaz sencilla para facilitar su uso por parte de los usuarios. En la imagen se puede confirmar la conexión con el dispositivo a través del mensaje mostrado en la esquina inferior izquierda (ver figura 125).

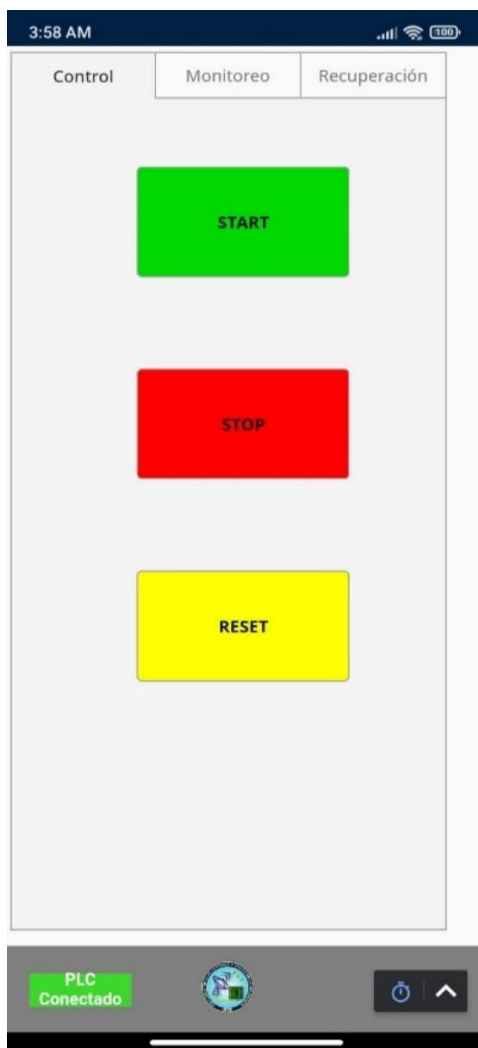


Figura 125. Aplicación para monitoreo remoto.

La interfaz ofrece la posibilidad de navegar a través de pestañas. En la pestaña de monitoreo, es posible verificar el funcionamiento de los transportadores de rodillos tanto de entrada como de carga, así como el correcto funcionamiento del algoritmo de detección de cajas (Ver figura 126).

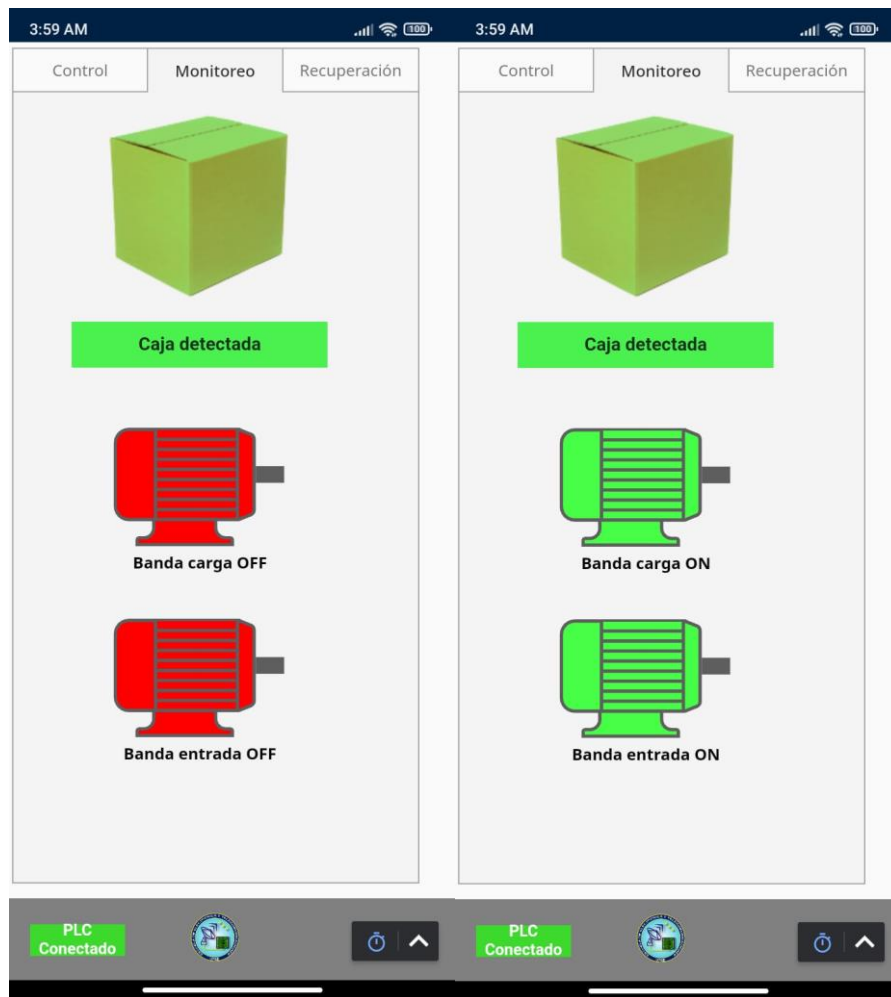


Figura 126. Funcionamiento de transportadores y detección de caja.

La pestaña de recuperación opera de manera similar al SCADA. Antes de recuperar, es necesario habilitar la opción correspondiente y seleccionar el tipo de cajas a recuperar. Luego, se visualiza la cantidad total de cajas almacenadas del tipo seleccionado. Posteriormente, se introduce la cantidad a recuperar y se presiona el botón de inicio para iniciar el proceso (Ver figura 127).



Figura 127. Pestaña monitoreo.

CONCLUSIONES

Utilizando el software de diseño SketchUp, se creó un esquema detallado de la ubicación de las diversas maquinarias que componen el sistema de almacenamiento dentro de un almacén. Gracias al uso de transelevadores, se optimiza el espacio que normalmente ocupan los montacargas, lo que permite instalar más estanterías y, en consecuencia, almacenar una mayor cantidad de productos.

El uso de múltiples lenguajes de programación de PLC, como Ladder y SCL, junto con la metodología de programación de máquinas secuenciales, permitió segmentar el desarrollo en varias etapas: traslado, clasificación, almacenamiento y recuperación de las cajas. Esto facilitó una verificación adecuada del funcionamiento del sistema. En cuanto a la gestión de los productos a almacenar, se determinó que asignar propiedades a las casillas de las estanterías es fundamental. Estos parámetros permitieron gestionar el almacenamiento de manera controlada y ordenada, gracias a la creación de bases de datos.

Mediante el software EPLAN 3D, se logró realizar el diseño del panel de control del sistema. El programa, que permite trabajar bajo las normativas IEC gracias a su amplia configuración, esto facilitó la creación de un diseño preciso. Su interfaz intuitiva permitió realizar el cableado de manera automatizada, garantizando una distribución correcta de los diferentes equipos dentro del panel. Además, EPLAN 3D proporcionó una visualización realista de cómo quedaría el tablero si se implementase en un futuro.

El diseño de una red de comunicación basada en servidores virtuales proporciona una solución tecnológica avanzada y eficiente para la transmisión de datos. Esta infraestructura no solo soporta las necesidades actuales del sistema, sino que también ofrece una base sólida para futuras expansiones y mejoras, alineándose con los principios de la industria 4.0 y posicionando a la empresa en una ventaja competitiva en el mercado. La red de comunicación permitió realizar un efectivo intercambio de datos entre el PLC automático y los sistemas de visualización de datos

resguardando la integridad de estos mediante el uso de protocolos de comunicación industrial.

El uso de la red de comunicación permitió obtener los datos necesarios para desarrollar un sistema de visualización mediante pantallas interactivas. Gracias al software de diseño Ignition, se crearon interfaces gráficas como SCADA, HMI y una aplicación móvil para que el personal pueda interactuar con el sistema. Esto facilitó la supervisión y el control del sistema de manera sencilla, tanto desde un cuarto de control como de forma remota a través de dispositivos móviles.

Dada la amplia gama de enfoques para el desarrollo del sistema, se puede concluir que este es adaptable y escalable.

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar los cálculos pertinentes para la adquisición de maquinaria, dado que estos dependen de varios parámetros como la carga máxima, el tipo de productos a almacenar, la eficiencia de funcionamiento y el entorno de operación. Es importante tener en cuenta que sobredimensionar los elementos de protección eléctrica puede provocar que no funcionen adecuadamente debido a discrepancias en los valores.

El monitoreo fue posible al hacer público el puerto del localhost desde donde se lanzó la aplicación, por lo tanto, es fundamental compartir el acceso solo con personal autorizado de la empresa. Por esta misma razón, cada usuario debe tener asignado un rol dentro de las interfaces para evitar que realice acciones no deseadas que pudieran ocasionar inconvenientes en la gestión del sistema.

Es recomendable tener control tanto a través de las interfaces gráficas como de manera física desde un panel de control. Esto es importante porque, en caso de que ocurra algún problema con el controlador y no detecte las señales de entrada, sería posible detener el sistema de forma segura desde el panel de control físico, evitando así posibles daños.

Es recomendable respetar la distancia de conexión establecida en los manuales de los dispositivos entre los variadores de frecuencia y los motores. Si la distancia es demasiado larga, podría causar daños tanto en los variadores como en los motores deteniendo el sistema. También se recomienda también proteger las salidas de relé del PLC con borneras portafusibles para evitar dañar los componentes junto a la parte de control.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “¿Qué es la Industria 4.0 y cuáles son sus características?” Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: <https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/industria-4-0/>
- [2] B. Zumba, A. G. Directora, I. M. Serrano, and M. Ximena, “Innovaciones tecnológicas para la gestión de inventarios,” 2021, Accessed: Dec. 07, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10740>
- [3] C. Rojas Gómez and V. Pacheco Yepes, “Logística de Almacenamiento Como Factor de Desarrollo Competitivo de la Empresa Amazon Durante el periodo 2008–2018,” 2019.
- [4] M. L. Gutierrez Rosado, “Análisis de la aplicación de la gestión logística y su impacto en los costos de almacenamiento y de transporte interno en las industrias de producción en los últimos 10 años: una revisión sistemática,” 2020.
- [5] S. A. ALMEIDA CEVALLOS, G. JÁCOME, B. RAFAEL, I. N. G. S. OCAÑA, and W. EDMUNDO, “DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO DE ALMACENAMIENTO/RECUPERACIÓN (AS/RS) MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE PRODUCTOS”.
- [6] D. A. Córdor Chuqui, “Automatización de un sistema de refrigeración industrial mediante un PLC, interface HMI y control remoto desde dispositivos móviles,” Quito, 2019.
- [7] C. I. Belupú Amaya, “Implementación de un sistema de monitoreo y control para automatizar la manipulación de las variables de proceso en tanques de almacenamiento,” 2017.
- [8] S. A. Namekar and R. Yadav, “Programmable Logic Controller (PLC) and its applications,” *International Journal of Innovative Research in TechnologY (IJIRT)*, vol. 6, no. 11, pp. 372–376, 2020.

- [9] E. C. PLANIFICACIÓN, “Plan nacional de desarrollo 2021, 2025,” *Lexis SA*: <http://www.eeq.com.ec>, vol. 8080, pp. 2021–2025, 2021.
- [10] C. I. Belupú Amaya, “Implementación de un sistema de monitoreo y control para automatizar la manipulación de las variables de proceso en tanques de almacenamiento,” 2017.
- [11] J. José Prado Lucio-Paredes, M. Belén Vivero Rosero, and E. Bayas Christopher Iza Magda Robayo Carlos Velasco, “Informe Mensual,” p. 37, Feb. 2023, Accessed: May 01, 2023. [Online]. Available: www.produccion.gob.ec
- [12] C. F. Quijije Miraflores and D. E. Álava Acebo, “Impacto de la tecnología en la gestión logística de las PYMES guayaquileñas: sector Vía Daule,” Guayaquill, p. 40, Jan. 2021. Accessed: May 01, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19648/1/UPS-GT003093.pdf>
- [13] A. Ferrer, *Historia de la globalización II: La Revolución Industrial y el segundo orden mundial*. Fondo de Cultura Económica Argentina, 2022.
- [14] V. Perasso, “Qué es la cuarta revolución industrial (y por qué debería preocuparnos),” *BBC Mundo*, vol. 12, 2016.
- [15] S. Palmero Escudero, “La Revolución Industrial en Inglaterra: orígenes, realizaciones y consecuencias,” 2022.
- [16] L. Elizalde-Marín, “Gestión de almacenes para el fortalecimiento de la administración de inventarios,” *Observatorio de la economía Latinoamericana*, no. noviembre, 2018.
- [17] S. A. M. Rodríguez, “Tecnología RFID al servicio de la logística,” *Reto*, vol. 4, no. 4, pp. 77–90, 2016.
- [18] A. A. C. Espinal, R. A. G. Montoya, and J. A. C. Arenas, “Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC),” *Estudios gerenciales*, vol. 26, no. 117, pp. 145–171, 2010.
- [19] J. D. Ovares-Mora, “Aplicación de los códigos QR en el control de bodegas,” 2016.

- [20] D. M. Valenzuela Rodgers, “Los drones como estrategia logística para las compañías dedicadas a la atención de la demanda de las tiendas virtuales-eCommerce,” 2018.
- [21] K. N. Triana Ortiz, “Estado del arte de la implementación del dron en las actividades logísticas”.
- [22] “Cómo elegir transportadores industriales: tipos - Mecalux.pe.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.mecalux.pe/blog/transportadores-industriales-tipos>
- [23] Antonio Iglesias, “Manual de gestión de almacén,” 2012.
- [24] P. H. Aragon Rodriguez, “Proyecto de implementación de un WMS y sistema de codificación de barras en almacén para la optimización de KPIs en una empresa distribuidora de electricidad en la ciudad de Arequipa,” 2021.
- [25] Camilo Silva García and Andrés Mauricio Días Melgarejo, “GESTIÓN DE ALMACENES CON TECNOLOGÍA WMS,” p. 12, Jun. 2018, Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/286064655.pdf>
- [26] A. C. Rincón Albarracín and D. R. Rodríguez Mayorga, “Diseño de un sistema de control para AGVs a utilizar en el marco de una emulación en un sistema de almacenamiento y recuperación automática (AS/RS)”.
- [27] G. R. Fuentes Campos, “Diseño de un sistema automático HMI/SCADA para el control del tanque desaireador del área de calderos de la empresa Agroindustrial Tumán SAA,” 2020.
- [28] E. B. Garay Alvarez, “Diseño de un sistema scada para la producción de envasado de arandanos en la empresa Agroindustrial Literas EIRL-Paramonga 2020,” 2023.
- [29] Germán Guzmán, Edwin Fernando Giraldo, Jorge Mario Rios Herrera, Juan Carlos Rios Herrera, and Marcos Barrientos Botero, “MONITOREO A TRAVÉS DE SISTEMAS EMBEBIDOS A PROCESOS INDUSTRIALES,” UNIVERSIDAD EAFIT, 2011. Accessed: May 17, 2023. [Online]. Available:

https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2398/RiosHerrera_JorgeMario_2011.pdf?sequence=1

- [30] J. A. V. Granados, “Metodología de diagnóstico logístico de almacenes y centros de distribución,” *Realidad y Reflexión*, pp. 93–105, 2019.
- [31] I. Nacional Seguridad and S. Bienestar en el Trabajo - INSSBT, “NTP-1.112: Seguridad en el almacenamiento de materiales mediante paletizado y apilado sobre el suelo,” p. 6, 2018, Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/566858/ntp-1112w.pdf/1a3cadf2-98c9-44ad-8ade-008f7d2b25ce?version=1.0&t=1614697795485>
- [32] G. F. Rougeot and T. P. Ardanuy, “Nota técnica de prevención - NTP 852,” p. 10, 2009, Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/326775/852+web.pdf/b0f07659-c7d6-43da-a4d1-f1f479765f1f?version=1.0&t=1617979127408>
- [33] J. M^a and T. Del Pino, “NTP 298: Almacenamiento en estanterías y estructuras,” p. 8, 1993, Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_298.pdf/5bd527bc-d34d-484d-861f-441d8876eba9?version=2.1&t=1683190568691
- [34] J. M^a, T. Del Pino, I. Bellota, J. C. Mancera, and N. Yepes Massaguer, “NTP 1076: Muelles de carga y descarga: seguridad,” p. 12, 2016, Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/566858/ntp-1076.pdf/6ca6457c-3514-4062-8386-0db9ccfda950?version=1.0&t=1614697958759>
- [35] S. Lda. en M. y Cirugía. Nogareda Cuixart and M^a del Mar Canosa Bravo Ing. Industrial., “NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH,” p. 10, 1998, Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_477.pdf/ac6514ab-a43f-4fe4-bb93-ac1a65d9c19d?version=1.1&t=1680163650595
- [36] V. A. Erazo-Arteaga, “El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina,” *Información tecnológica*, vol. 33, no. 2, pp. 297–308, 2022.

- [37] E. DE and H. ARMADO, “NEC,” 2014.
- [38] J. Quezada, E. Flores, A. Solís, and V. Quezada, “IEC-61131 Controladores Programables,” *Revistas y Boletines Científicos*, vol. 3, no. 5, 2014.
- [39] Á. Rubio Ruiz, “Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico de puestos con pantallas de visualización”, Accessed: May 29, 2023. [Online]. Available:
<https://www.insst.es/documents/94886/96076/Manual+de+normas+t%C3%A9cnicas+para+el+dise%C3%B1o+ergon%C3%B3mico+de+puestos+con+pantallas+de+visualizaci%C3%B3n/b4818262-f8ba-4ddd-9c49-9e7d6ea4ce62>
- [40] L. G. C. Ramírez, G. S. A. Jiménez, and J. M. Carreño, *Sensores y actuadores*. Grupo Editorial Patria, 2014.
- [41] Blog Logicbus, “Protocolos de comunicación industriales.” Accessed: Jul. 10, 2023. [Online]. Available:
<https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>
- [42] B. E. Cargua Medina, “Desarrollo de un servidor de datos industrial para el protocolo modbus rtu para lectura y escritura de datos booleanos, enteros y flotantes, a dispositivos esclavos.” Quito: EPN, 2022., 2022.
- [43] H. Johansson, “Profinet Industrial Internet of Things Gateway for the Smart Factory,” 2017.
- [44] M. A. Vascones Naula and G. Ampuño Avilés, “Diseño e implementación de un transelevador automático para almacenamiento de cajas controlado y monitoreado por un sistema Scada.” UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, Guayaquil, 2016. Accessed: May 29, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13454/1/UPS-GT001784.pdf>
- [45] J. Arias Polanco, “Análisis comparativo de los lenguajes de programación de PLC definidos en la norma IEC 61131-3,” 2019.
- [46] S. A. ALMEIDA CEVALLOS, G. JÁCOME, B. RAFAEL, I. N. G. S. OCAÑA, and W. EDMUNDO, ““DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN

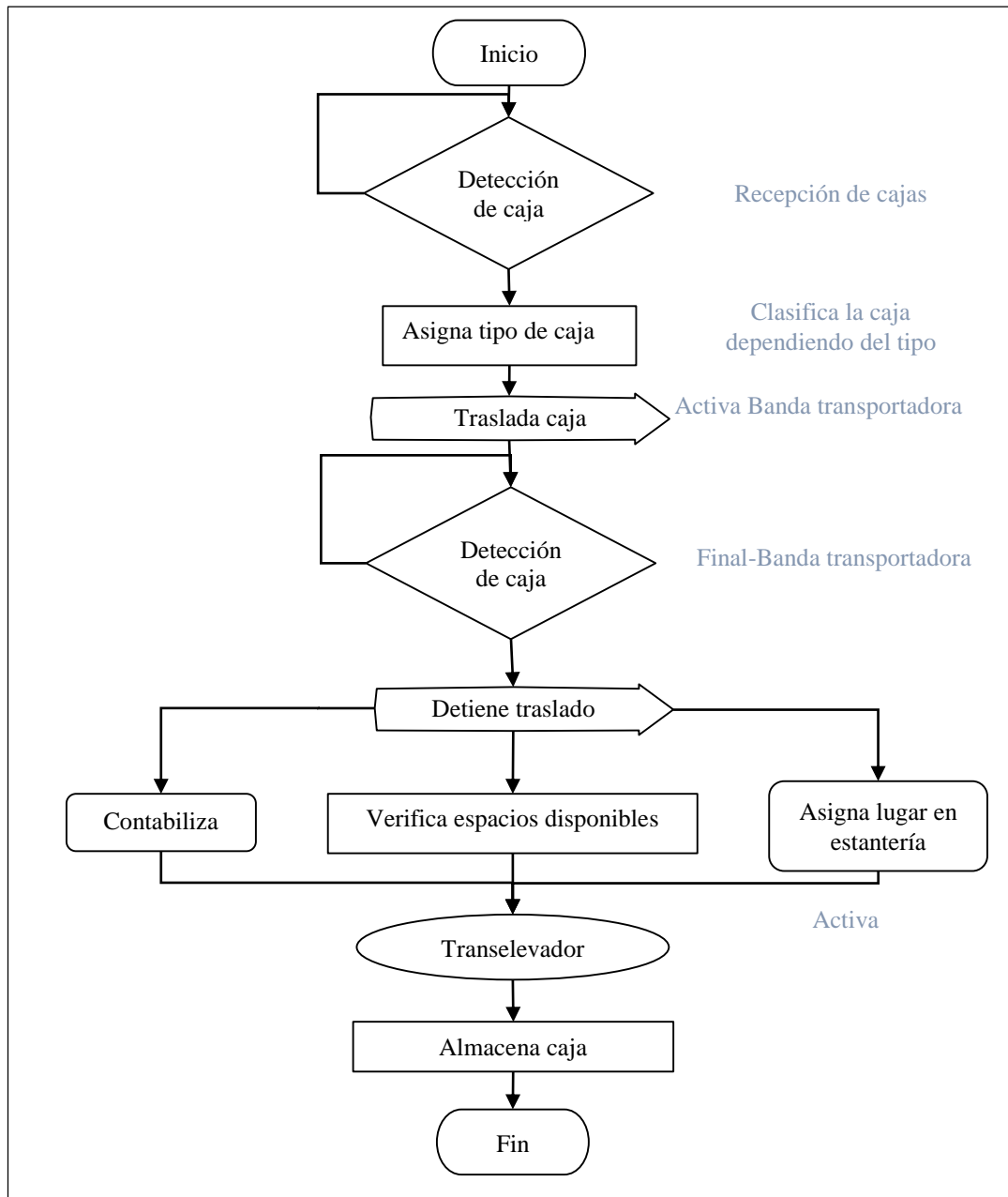
SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO DE ALMACENAMIENTO/RECUPERACIÓN (AS/RS) MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE PRODUCTOS CON CÓDIGOS QR, EN EL LABORATORIO DE NEURÓNICA E HIDRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE", Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23120/1/T-ESPEL-EMI-0397.pdf>

- [47] A. Fausto, G. Eddie, C. Carlos, and P. José, "Diseño y construcción de un prototipo de Sistema Automatizado de Almacenamiento/Recuperación (AS/RS), para Sistemas Flexibles de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes,," 2014. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9118/1/AC-ESPEL-MEC-0028.pdf>
- [48] B. A. Jerez Meza, "Diseño y construcción de un prototipo a escala de un transelevador automatizado tipo AS/RS unit load para el transporte de cargas paletizadas," 2021.
- [49] "Estanterías paletización dinámica | Paletización | www.mecalux.pe." Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.mecalux.pe/estanterias-paletizacion/estanterias-paletizacion-dinamica>
- [50] jungheinrich, "Los elementos estructurales de un almacén se construyen a base de acero y conocimiento." Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.jungheinrich.ec/sistemas-de-estanter%C3%ADas-de-jungheinrich-679866>
- [51] Mecalux, "Estanterías para paletización convencional El sistema más universal para el acceso directo y unitario a cada paleta." Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <https://mecaluxpe.cdnwm.com/catalogos/paletizacion-convencional-selectiva1.1.0.pdf>

- [52] “Estanterías paletización compacta | Paletización - Mecalux.pe.” Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.mecalux.pe/estanterias-paletizacion/estanterias-paletizacion-compacta>
- [53] Legrand, “CONSTRUCCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE CONJUNTOS DE CONFORMIDAD CON IEC61439-1 y 2,” Mar. 2012, Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.legrand.es/sites/g/files/ocwmcr651/files/2022-08/Guia-Normativas-Potencia-Legrand.pdf>
- [54] C. Budia Pineda, “Transelevador para 2 cargas paletizadas de 1000 Kg,” 2003.
- [55] R. M. González, “Diseño y cálculo de un transelevador para un almacén automatizado de carrocerías,” Nov. 2012.
- [56] “Delta Vector Control Drive C2000 Series Digitized Automation for a Changing World”.
- [57] A. F. Fernández Flórez, “Guía de procedimientos para la fabricación y ensamble de conjuntos totalmente armados conforme a la norma IEC 61439-1/2 para la empresa K&V Ingeniería LTDA.,” 2014.
- [58] L. A. Gómez Arizabaleta and D. F. Duque Betancourth, “Consideraciones de diseño de las máquinas secuenciales sincrónicas.,” 1996.

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo de un sistema AS/RS.



Anexo 2. Datasheet de la fuente SITOP PSU100S.

| Entrada | |
|--|--|
| forma de la red de alimentación | AC monofásica |
| tensión de alimentación con AC | Cambio de rango automático |
| • valor inicial | |
| tensión de alimentación | 120 V 230 V |
| • 1 con AC valor nominal • 2 con AC valor nominal | |
| intensidad de entrada | 1,25 A 0,74 A |
| • con valor nominal de la tensión de entrada 120 V • con valor nominal de la tensión de entrada 230 V | |
| limitación de intensidad de intensidad de conexión con 25 °C máx. | 33 A |
| valor I _{2t} máx. | 0,4 A ² s |
| tipo de protección | T 3,15 A/250 V (no accesible) |
| • en el cable de red | Interruptor magnetotérmico recomendado: a partir de 3 A característica C |

Anexo 3. Catálogo de motores.

| Potencia kW | Referencia del motor | Tamaño constructivo | Rated Speed rpm | Eficiencia 100% | Factor de potencia | Corriente nominal | | | Torque nominal Nm | Datos de arranque | | | Peso IM B3 kg | |
|--|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--------|--------|-------------------------|---|--|-----------------------------------|---------------------|------|
| | | | | | | 220V A | 380V A | 440V A | | Corriente de arranque x I _n | Torque de arranque x T _n | Torque Máximo x T _n | | |
| Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 2 Polos 3600 rpm | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,75 | 1 | 1LE0141-0DA26-4AA4 | 80M | 3450 | 75,5 | 0,81 | 3,2 | 1,85 | 1,6 | 2,1 | 6 | 2,2 | 3 | 14,0 |
| 1,1 | 1,5 | 1LE0141-0DA36-4AA4 | 80M | 3440 | 82,5 | 0,83 | 4,3 | 2,5 | 2,15 | 3,1 | 7 | 2,8 | 3 | 16,0 |
| 1,5 | 2 | 1LE0141-0DA86-4AA4 | 80M | 3450 | 84,0 | 0,83 | 5,6 | 3,25 | 2,8 | 4,2 | 7 | 2,8 | 3 | 18,0 |
| 2,2 | 3 | 1LE0141-0EA46-4AA4 | 90L | 3500 | 85,5 | 0,87 | 7,9 | 4,55 | 3,95 | 6,0 | 8 | 2,8 | 3 | 28 |
| 3 | 4 | 1LE0141-0EA86-4AA4 | 90L | 3505 | 87,5 | 0,87 | 10,3 | 6 | 5,1 | 8,2 | 8 | 2,8 | 3 | 28 |
| 3,7 | 5 | 1LE0141-1AA86-4AA4 | 100L | 3440 | 87,5 | 0,88 | 12,7 | 7,4 | 6,4 | 10,3 | 8 | 3 | 3,5 | 40 |
| 5,5 | 7,5 | 1LE0141-1BA86-4AA4 | 112M | 3510 | 88,5 | 0,88 | 18,8 | 10,9 | 9,4 | 15,0 | 8 | 3 | 3,5 | 45 |
| 7,5 | 10 | 1LE0141-1CA16-4AA4 | 132S | 3525 | 89,5 | 0,88 | 25 | 14,4 | 12,4 | 20,3 | 8,5 | 2,3 | 3,5 | 70 |

Anexo 4. Aplicación de la fórmula en Matlab.

```

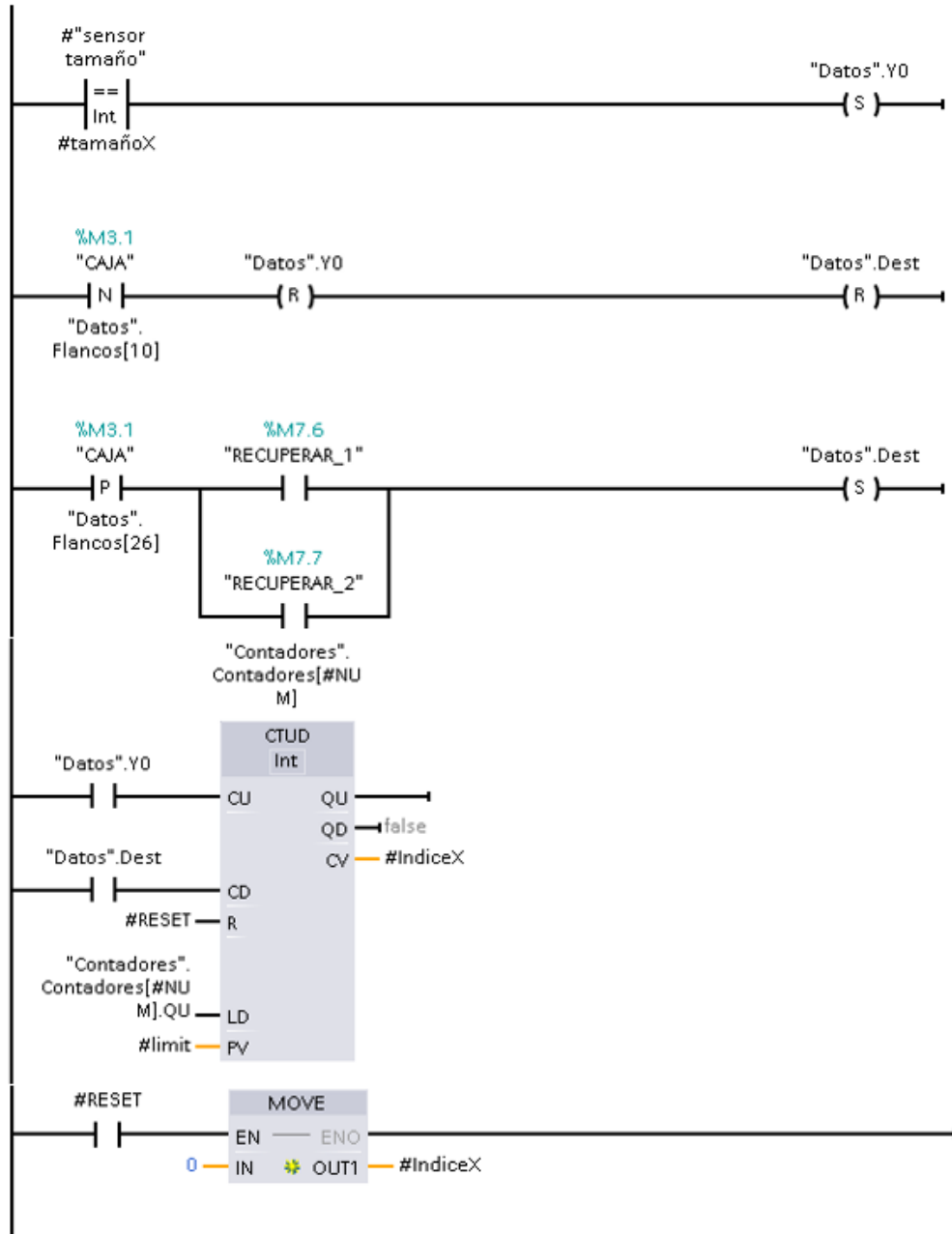
untitled.m x | +
/MATLAB Drive/untitled.m
1
2   T1 = [0.67 1.35 2.03 2.70 3.38 4.06 4.73 5.41 6 6 6 6];
3   T4 = [0.67 1.35 2.03 2.70 3.38 4.06 4.73 5.41 6 6 6 6];
4   T2 = [0 0 0 0 0 0 0 0.1 0.76 1.44 2.12];
5   M1=134.20;
6   M4=127.17;
7   M2=12.44;
8   for i = 1:12
9       M = (((M1^2)*T1(i)^2)+((M4^2)*T4(i)^2)+((M2^2)*T2(i)))/((T1(i)^2)+(T4(i)^2)+(T2(i)^2));
10      end
11
12      Mmed=sqrt(M);
13      disp(Mmed)
14
Command Window
>> untitled
120.5673

```

Anexo 5 Consulta de posición a almacenar.

```
//CAJA PEQUEÑA
IF #CP AND NOT #CM AND NOT #CG AND NOT "CAJA" THEN
  FOR #indice[1] := 1 TO 18 DO
    IF "Casillas".lugares_P[#indice[1]].desocupado = 1 THEN
      #Posc_ca_des[0] := #indice[1];
      EXIT;
    END_IF;
  END_FOR;
END_IF;
//CAJA MEDIANA
IF NOT #CP AND #CM AND NOT #CG AND NOT "CAJA" THEN
  FOR #indice[1] := 1 TO 18 DO
    IF "Casillas".lugares_M[#indice[1]].desocupado = 1 THEN
      #Posc_ca_des[0] := #indice[1];
      EXIT;
    END_IF;
  END_FOR;
END_IF;
// CAJA GRANDE
IF NOT #CP AND NOT #CM AND #CG AND NOT "CAJA" THEN
  FOR #indice[1] := 1 TO 18 DO
    IF "Casillas".lugares_G[#indice[1]].desocupado = 1 THEN
      #Posc_ca_des[0] := #indice[1];
      EXIT;
    END_IF;
  END_FOR;
END IF;
```

Anexo 6. Programación por bloques del conteo de cajas por tipo.



Anexo 7. Programación SCL de envío de caja a posición deseada.

```

IF "CAJA" = 1 AND NOT "REUB" AND (#A1 OR #A2 OR #A3) THEN
  IF (#A1 AND "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].desocupado) AND (NOT #CM AND NOT #CG) = 1 THEN
    "Target Pos" := "Ubicaciones".CAJA_P[#Posc_ca_des[0]];
    "Ocupaciones".ocupadoP[#Posc_ca_des[0]] := "Ubicaciones".CAJA_P[#Posc_ca_des[0]];
    "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].ocupado := 1;
    "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].desocupado := 0;
    "ALMC" := 1;
    "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].Tanda := "Tanda";
  END_IF;
  IF (#A2 AND "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].desocupado) AND (NOT #CP AND NOT #CG) = 1 THEN
    "Target Pos" := "Ubicaciones".CAJA_M[#Posc_ca_des[0]];
    "Ocupaciones".ocupadoM[#Posc_ca_des[0]] := "Ubicaciones".CAJA_M[#Posc_ca_des[0]];
    "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].ocupado := 1;
    "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].desocupado := 0;
    "ALMC" := 1;
    "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].Tanda := "Tanda";
  END_IF;
  IF (#A3 AND "Casillas".lugares_G[#Posc_ca_des[0]].desocupado) AND (NOT #CP AND NOT #CM) = 1 THEN
    "Target Pos" := "Ubicaciones".CAJA_G[#Posc_ca_des[0]];
    "Ocupaciones".ocupadoG[#Posc_ca_des[0]] := "Ubicaciones".CAJA_G[#Posc_ca_des[0]];
    "Casillas".lugares_G[#Posc_ca_des[0]].ocupado := 1;
    "Casillas".lugares_G[#Posc_ca_des[0]].desocupado := 0;
    "ALMC" := 1;
    "Casillas".lugares_G[#Posc_ca_des[0]].Tanda := "Tanda";
  END_IF;
END_IF;

```

Anexo 8. Programación de disponibilidad de cajas.

```

//////////////////////////////////CAJA PEQUEÑA//////////////////////////////////
IF #CPE=1 & #CME=0 & #CGR=0 & #Inicio=1 THEN
  #a := 0;
  #b := 0;
  #c := 0;
  #e := 0;
  FOR #indice[0] := 1 TO 18 DO
    IF "Casillas".lugares_P[#indice[0]].desocupado = 1 THEN // estanteria 1;
      #a := 0; // es 0 si esta desocupado;
      #c += 1;
    ELSIF "Casillas".lugares_P[#indice[0]].ocupado = 1 THEN
      #a := 1; // es 1 si esta ocupado;
      #b += 1;
      #e += 1;
    END_IF;
  END_FOR;
  FOR #indice[0] := 1 TO 18 DO
    IF "Casillas".lugares_P2[#indice[0]].desocupado = 1 THEN // estanteria 2;
      #a := 0; // es 0 si esta desocupado;
      #c += 1;
    ELSIF "Casillas".lugares_P2[#indice[0]].ocupado = 1 THEN
      #a := 1; // es 1 si esta ocupado;
      #b += 1;
    END_IF;
  END_FOR;

  "Catd_oc_p" := #b; // cantidad de casillas ocupadas por cajas;
  "Catd_doc_p" := #c; //cantidad de casillas desocupadas;
  #d := "Cantidad";

  #minValue := 999999;

  FOR #i := 1 TO 18 DO
    IF "Casillas".lugares_P[#i].Tanda <> 0 AND "Casillas".lugares_P[#i].Tanda < #minValue THEN
      #minValue := "Casillas".lugares_P[#i].Tanda;
    END_IF;
  END_FOR;

  #Tanda_recu[0] := #minValue;
END_IF;

```

Anexo 9. Consulta de posición a almacenar.

```
#d := #Cantidad;
#cant_rec := #d;
// CAJA PEQUEÑA
IF #CPE AND #X[0] THEN
  IF #Pos_in_ocpd[0] = 18 THEN
    #Pos_in_ocpd[0] := #Pos_in_ocpd[0] + 1;
  END_IF;
  IF (#Pos_in_ocpd[0] <= 18 AND NOT #X[7]) AND #e <> 0 THEN
    FOR #indice[1] := 1 TO 18 DO
      IF "Casillas".lugares_P[#indice[1]].ocupado = 1 AND "Casillas".lugares_P[#indice[1]].Tanda = #Tanda_recu[0] THEN // estanteria 1;
        #Pos_in_ocpd[0] := #indice[1];
        EXIT;
      END_IF;
    END_FOR;
  END_IF;
  ELSEIF #Pos_in_ocpd[2] < 19 AND #e=0 THEN
    FOR #indice[1] := 1 TO 18 DO
      IF "Casillas".lugares_P2[#indice[1]].ocupado = 1 AND "Casillas".lugares_P2[#indice[1]].Tanda = #Tanda_recu[0] THEN // estanteria 2;
        #Pos_in_ocpd[2] := #indice[1];
        #X[7] := TRUE;
        EXIT;
      END_IF;
    END_FOR;
  END_IF;
  #X[1] := TRUE;
  #X[0] := FALSE;
END_IF;
```


Anexo 10. Envío de posición a recuperar.

```

IF #cant_rec > #Pos_in_ocpd[1] AND #X[1] THEN

  IF #CPE OR #CME OR #CGR THEN
    /// CAJA PEQUEÑA////////////////////////////////////
    IF #CPE AND NOT #CME AND NOT #CGR THEN
      IF "Casillas".lugares_P[#Pos_in_ocpd[0]].ocupado AND #Pos_in_ocpd[0] < 19 AND NOT #X[7] THEN
        "Target Pos" := "Ubicaciones".CAJA_P[#Pos_in_ocpd[0]];
        #X[1] := FALSE;
        #X[2] := TRUE;
      ELSIF "Casillas".lugares_P2[#Pos_in_ocpd[2]].ocupado AND #Pos_in_ocpd[2] < 19 AND #X[7] THEN
        "Target Pos" := "Ubicaciones".CAJA_P2[#Pos_in_ocpd[2]];
        #X[1] := FALSE;
        #X[2] := TRUE;
      END_IF;
    END_IF;
  END_IF;

```

Anexo 11. Verificación de almacenamiento de las cajas.

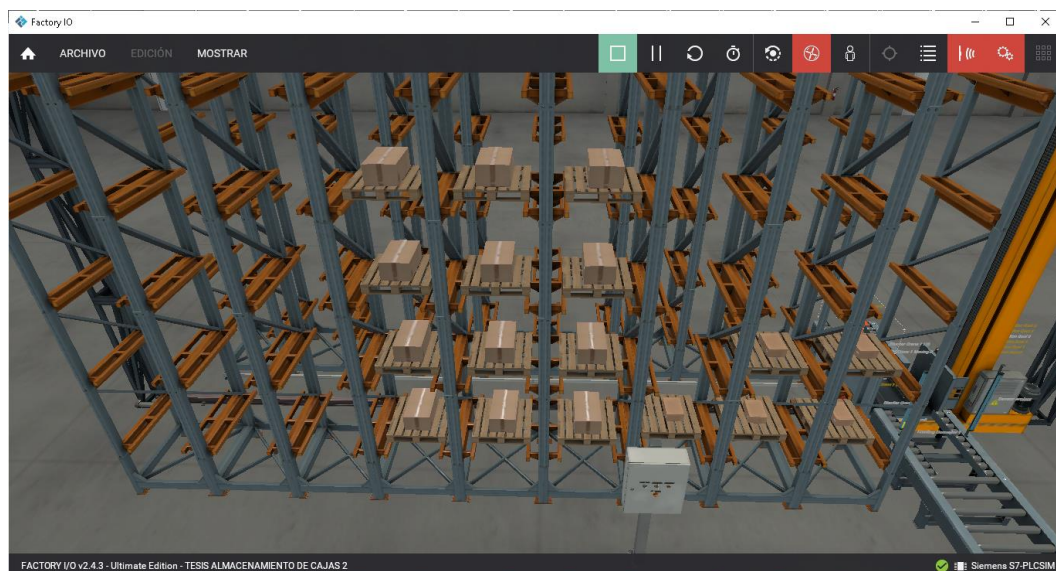
```

IF "CAJA" = 1 AND NOT "REUB" AND (#A1 OR #A2 OR #A3) THEN
  IF (#A1 AND "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].desocupado) AND (NOT #CM AND NOT #CG) = 1 THEN
    "Target Pos" := "Ubicaciones".CAJA_P[#Posc_ca_des[0]];
    "Ocupaciones".ocupadoP[#Posc_ca_des[0]] := "Ubicaciones".CAJA_P[#Posc_ca_des[0]];
    "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].ocupado := 1;
    "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].desocupado := 0;
    "ALMC" := 1;
    "Casillas".lugares_P[#Posc_ca_des[0]].Tanda := "Tanda";
  END_IF;
  IF (#A2 AND "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].desocupado) AND (NOT #CP AND NOT #CG) = 1 THEN
    "Target Pos" := "Ubicaciones".CAJA_M[#Posc_ca_des[0]];
    "Ocupaciones".ocupadoM[#Posc_ca_des[0]] := "Ubicaciones".CAJA_M[#Posc_ca_des[0]];
    "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].ocupado := 1;
    "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].desocupado := 0;
    "ALMC" := 1;
    "Casillas".lugares_M[#Posc_ca_des[0]].Tanda := "Tanda";
  END_IF;

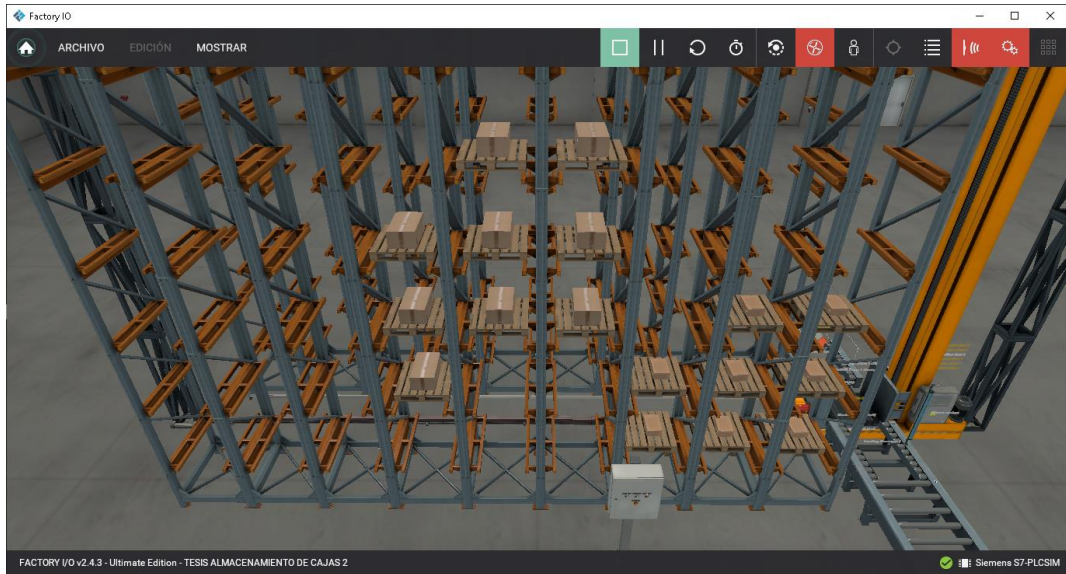
```

| Resultado | TRUE |
|----------------|-------|
| Resultado | FALSE |
| "Target Pos" | 10 |
| "Ocupacione... | 10 |
| "Casillas".... | TRUE |
| "Casillas".... | FALSE |
| "ALMC" | TRUE |
| "Casillas".... | 1 |
| Resultado | FALSE |
| "Target Pos" | 24 |
| "Ocupacione... | 24 |
| "Casillas".... | TRUE |
| "Casillas".... | |
| "ALMC" | |
| "Casillas".... | |

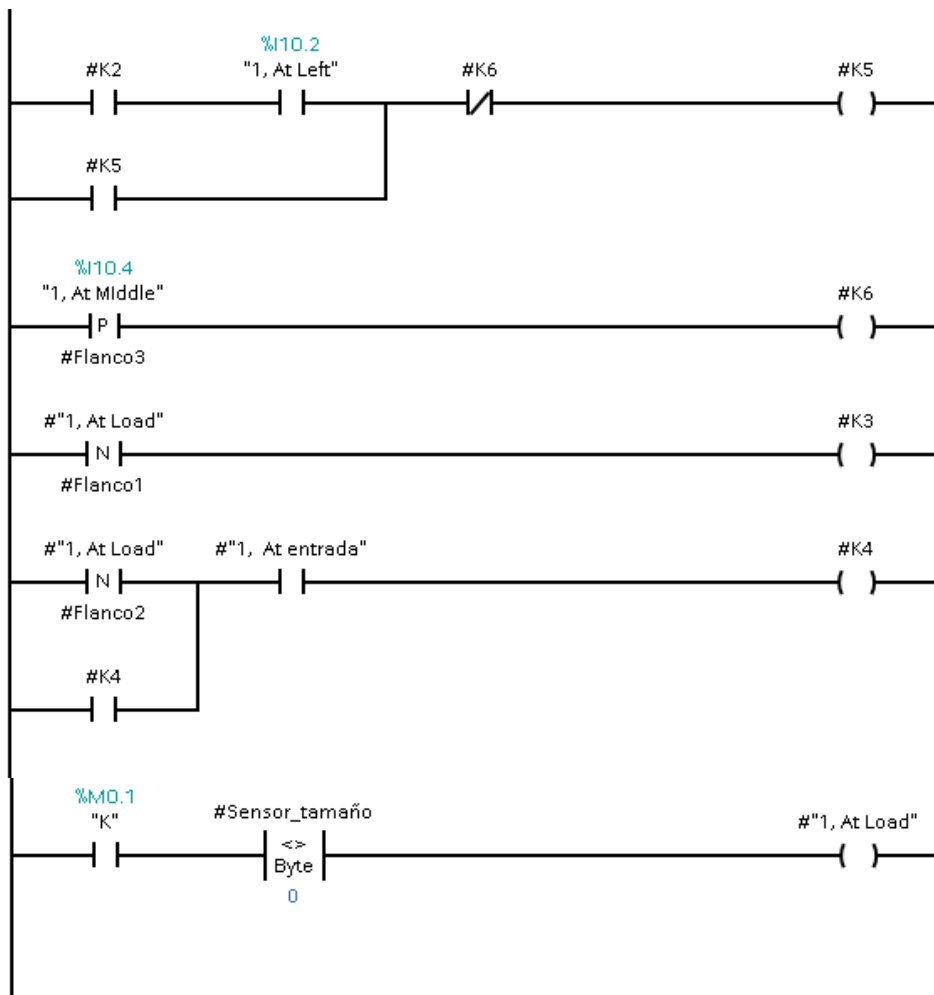
Anexo 12. Simulación del sistema.



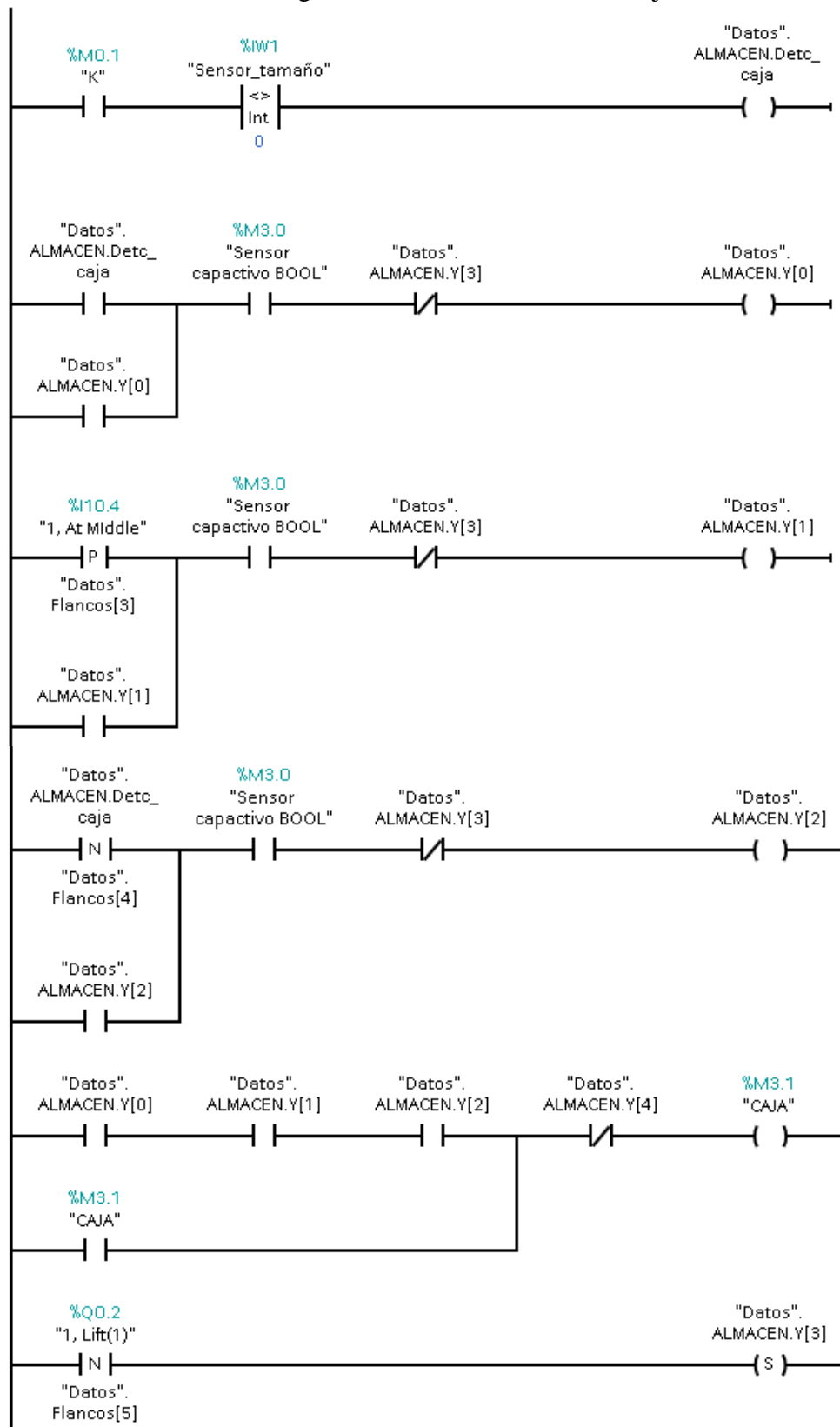
Anexo 13. Recuperación de cajas.



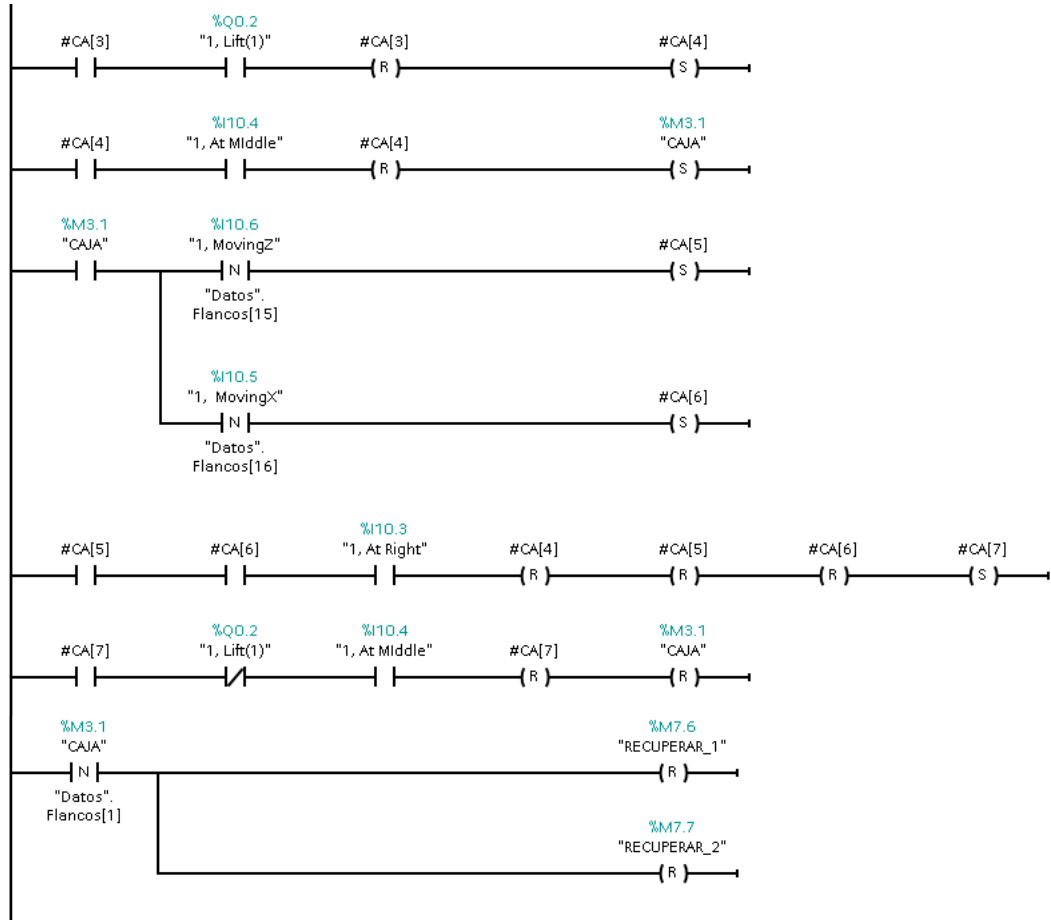
Anexo 14. Programación de funcionamiento de transportadores de rodillos P2.



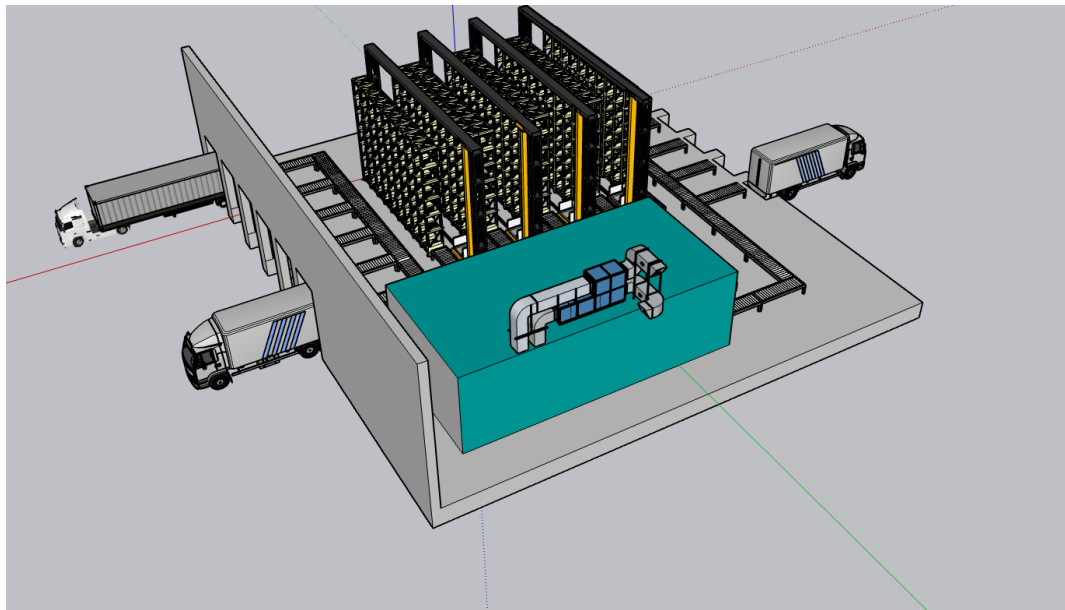
Anexo 16. Programación de la detección de cajas P1.



Anexo 19. Programación de recuperación de caja P2.



Anexo 20. Distribución de espacios.



La libertad, 14 de marzo de 2024

Señor ingeniero


Ing. José Sánchez Aquino Msc.

DIRECTOR DE CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

En su despacho.-

De mi consideración:

Cumplo en informar el resultado obtenido en la revisión de plagio realizado por el software COMPILATIO, del trabajo de titulación, **“Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0”**, elaborado por el estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones RUBÉN DARÍO GONZÁLEZ AVELINO, el cual dio como resultado el 2% de similitudes.

 INFORME DE ANÁLISIS
magister

TESIS Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0

2%
Textos sospechosos

2% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
< 1% Idiomas no reconocidos

| | | |
|--|--|---|
| Nombre del documento: TESIS Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0.docx ID del documento: 44e89d9b298e56b15ecf258dd7bf6cbea2ea32b4 Tamaño del documento original: 21,13 MB | Depositante: LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ Fecha de depósito: 14/3/2024 Tipo de carga: Interface fecha de fin de análisis: 14/3/2024 | Número de palabras: 31.441 Número de caracteres: 207.225 |
|--|--|---|

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ

Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

TESIS Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0



Nombre del documento: TESIS Diseño de un sistema automatizado de almacenamiento, recuperación y monitoreo de cajas mediante procesos robustos enfocados a la industria 4.0.docx
ID del documento: 44e89d9b298e56b15ecf258dd7bf6cbea2ea32b4
Tamaño del documento original: 21,13 MB

Depositante: LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ
Fecha de depósito: 14/3/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 14/3/2024

Número de palabras: 31.441
Número de caracteres: 207.225

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

| N° | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|----|--|-------------|-------------|--|
| 1 | repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4055/6/UPSE-TET-2017-0006.pdf.txt 5 fuentes similares | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (91 palabras) |
| 2 | 1library.co Identificación y control del sistema de lavado de botellones de agua p... https://1library.co/document/zwp5kvc-identificacion-control-sistema-lavado-botellones-mejorar-su... 4 fuentes similares | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (81 palabras) |
| 3 | repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9026/1/UPSE-TET-2023-0002.pdf 3 fuentes similares | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (75 palabras) |
| 4 | repositorio.espe.edu.ec https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23120/1/T-ESPEL-EMI-0397.pdf 4 fuentes similares | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (62 palabras) |
| 5 | repositorio.espe.edu.ec https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23120/2/ESPEL-EMI-0397-P.pdf 2 fuentes similares | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (54 palabras) |

Fuentes con similitudes fortuitas

| N° | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|----|---|-------------|-------------|--|
| 1 | repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/3692/6/UPSE-TEB-2016-0063.pdf.txt | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (36 palabras) |
| 2 | repository.unab.edu.co https://repository.unab.edu.co/bitstream/20.500.12749/14336/1/2021_Tesis_Brayan_Alfonso_Jerez_... El documento proviene de otro grupo | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (40 palabras) |
| 3 | Documento de otro usuario #1a0314 El documento proviene de otro grupo | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (17 palabras) |
| 4 | repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5543/1/UPSE-TTI-2020-0003.pdf | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (32 palabras) |
| 5 | repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4787/1/UPSE-TET-2019-0005.pdf | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (34 palabras) |

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

| | |
|---|--|
| 1 | https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/industria-4-0/ |
| 2 | https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10740 |
| 3 | http://www |
| 4 | https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19648/1/UPS-GT003093.pdf |
| 5 | https://www.mecalux.pe/blog/transportadores-industriales-tipos |



firmado electrónicamente por:
LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ