



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

## **AGRADECIMIENTOS**

“A mi familia, mis compañeros y mi tutor,  
por su apoyo a lo largo de todo el máster y el TFM”

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

## RESUMEN

El trabajo en el diseño y simulación de una planta industrial automatizada que clasifique los productos para su paletizado y almacenamiento. Los productos llegarán en cajas de tres tipos distintos, lo que permitirá la clasificación por tamaño. En primer lugar, se procede al diseño del proceso definiendo los sensores y actuadores necesarios y su implementación en la herramienta de Factory I/O. En segundo lugar, se realiza la programación del PLC encargado del control de todas las funcionalidades que debe realizar el sistema. Los programas se desarrollan a través del software Codesys empleando la forma de programación GRAFCET siguiendo la guía GEMMA para buenas prácticas en los procedimientos de funcionamiento, parada y fallo de los automatismos. En tercer y último lugar, se implementará el programa del autómatas sobre el entorno de simulación de Factory I/O para comprobar mediante simulación el funcionamiento de la instalación. Se empleará este gemelo digital para evaluar la solución en un entorno virtual y seguro para una mayor seguridad y confianza durante la implantación de la planta real.

**Palabras Clave:** PLC, almacén automático, gemelo digital, tiempo real, GRAFCET, simulación, Factory I/O, Codesys, clasificado de cajas, paletizado.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

## RESUM

El treball consisteix en el disseny i simulació d'una planta industrial automatitzada que classifique els productes per al seu paletitzat i emmagatzematge. Els productes arribaran en caixes de tres tipus diferents, la qual cosa permetrà la classificació per dimensió. En primer lloc, es procedeix al disseny del procés definint els sensors i actuadors necessaris i la seua implementació en l'eina de Factory I/O. En segon lloc, es realitza la programació del PLC encarregat del control de totes les funcionalitats que ha de realitzar el sistema. Els programes es desenvolupen a través del programari Codesys emprant la forma de programació GRAFCET seguint la guia GEMMA per a bones pràctiques en els procediments de funcionament, parada i fallada dels automatismes. En tercer i últim lloc, s'implementarà el programa de l'autòmat sobre l'entorn de simulació de Factory I/O per comprovar mitjançant simulació el funcionament de la instal·lació. S'emprarà aquest bessó digital per avaluar la solució en un entorn virtual i segur per a una major seguretat i confiança durant la implantació de la planta real.

**Paraules clau:** PLC, magatzem automàtic, bessó digital, temps real, GRAFCET, simulació, Factory I/O, Codesys, classificat de caixes, paletitzat.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

## **ABSTRACT**

Development of the design and simulation of an automated industrial plant that classifies products for palletizing and storage. The products will arrive in boxes of three different types, which will allow the classification by size. First, the process design is carried out defining the necessary sensors and actuators and their implementation in the Factory I/O tool. Second, the programming of the PLC in charge of the control of all the functionalities that the system must carry out is elaborated. The programs are developed through the Codesys software using the GRAFCET programming method following the GEMMA guide for good practices in the operating, stopping and failure procedures of the automatisms. Third and last, the PLC program will be implemented on the Factory I/O simulation environment to verify the operation of the installation by simulation. This digital twin will be used to evaluate the solution in a virtual and secure environment for greater security and confidence during the implementation of the real plant.

**Keywords:** PLC, automated warehouse, digital twin, real time, GRAFCET, simulation, Factory I/O, Codesys, box sorting, palletizing.

# ÍNDICE

## Documentos contenidos en el TFM

- Memoria
- Presupuesto
- Plano
- Pliego condiciones
- Anexos

## Índice de la Memoria

CAPÍTULO 1. Introducción .....	1
1.1. Objetivos del documento .....	1
1.1.1 Objetivo general .....	1
1.1.2 Objetivos específicos .....	1
1.1.3 Motivación .....	2
1.2 Antecedentes del proyecto .....	3
1.2.1 Automatización industrial .....	3
1.2.2 Descripción del proceso a automatizar .....	4
1.2.3 Especificaciones y limitaciones .....	4
1.2.4 Diagrama de bloques del sistema .....	5
1.3 Estudio de alternativas .....	6
1.3.1 Omron .....	7
1.3.2 Siemens .....	8
1.3.3 Phoenix Contact .....	9
1.3.4 Conclusiones de alternativas en marcas para el hardware y software .....	11
CAPÍTULO 2. Diseño de la línea de producción .....	12
2.1 ESTACIÓN 1: Clasificación de las cajas .....	12

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

2.1.1 Operaciones ejecutadas .....	12
2.1.2 Funcionalidades de la estación .....	13
2.1.3 Layout de la estación.....	14
2.2 ESTACIÓN 2: Paletizado cajas medianas .....	14
2.2.1 Operaciones ejecutadas .....	14
2.2.2 Funcionalidades de la estación .....	15
2.2.3 Layout de la estación.....	16
2.3 ESTACIÓN 3: Paletizado cajas pequeñas .....	16
2.3.1 Operaciones ejecutadas .....	16
2.3.2 Funcionalidades de la estación .....	17
2.3.3 Layout de la estación.....	17
2.4 ESTACIÓN 4: Almacenamiento palés cajas pequeñas .....	18
2.4.1 Operaciones ejecutadas .....	18
2.4.2 Funcionalidades de la estación .....	18
2.4.3 Layout de la estación.....	19
2.5 Selección del equipamiento .....	19
2.5.1 Sensores .....	20
2.5.2 Actuadores simples .....	22
2.5.3 Actuadores complejos o maquinaria.....	23
2.5.4 Control automatizado .....	24
2.5.5 Cantidad de equipamiento necesario .....	26
CAPÍTULO 3. Diseño del automatismo .....	27
3.1 ESTACIÓN 1 .....	27
3.1.1 Lógica de la estación .....	27
3.1.2 Interfaz de usuario .....	28
3.2 ESTACIÓN 2 .....	30
3.2.1 Lógica de la estación .....	30
3.2.2 Interfaz de usuario .....	31
3.3 ESTACIÓN 3 .....	32
3.3.1 Lógica de la estación .....	32
3.3.2 Interfaz de usuario .....	33
3.4 ESTACIÓN 4 .....	34
3.4.1 Lógica de la estación .....	34

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

3.4.2 Interfaz de usuario .....	34
CAPÍTULO 4. Implementación de la solución .....	36
4.1 Programación .....	36
4.2 Montaje .....	38
4.3 Cableado.....	39
4.4 Red.....	39
CAPÍTULO 5. Análisis de la solución implementada.....	40
5.1 Elaboración del gemelo digital .....	40
5.2 Pruebas y recopilación de información.....	48
5.3 Resultados .....	51
CAPÍTULO 6. Conclusiones .....	53
REFERENCIAS.....	54

## Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de bloques con los flujos y operaciones previstas en la línea .....	6
Figura 2: Controlador programable Omron CJ2 [4] .....	7
Figura 3: Sistema de salidas y entradas distribuidas SmartSlice de Omron [4] .....	7
Figura 4: Distintos equipos de la serie ET 200SP de Siemens [5] .....	9
Figura 5: Controladores PLCnext incluidos en la gama Axiocontrol de Phoenix Contact [6].....	10
Figura 6: Interfaz de Codesys .....	10
Figura 7: Layout de la estación 1.....	14
Figura 8: Layout de la estación 2.....	16
Figura 9: Layout de la estación 3.....	17
Figura 10: Layout de la estación 4.....	19
Figura 11: Fococélula retrorreflectiva de la gama XU de OsiSense [10] .....	20
Figura 12: Espejo reflector catadióptrico para las fotocélulas [11] .....	20
Figura 13: Sensor de altura fotoeléctrico con array discreto de Allen Bradley [12] .....	21
Figura 14: Báscula con cinta transportadora integrada [13].....	21
Figura 15: Ejemplo de cinta transportadora con banda de PVC de la marca JiaBao [14] .....	22
Figura 16: Ejemplo de parador de palés en cintas de rodillos [15].....	22
Figura 17: Paletizadora de ejes cartesianos de la marca YM [16].....	23
Figura 18: Ejemplo de carro transelevador de la marca Mecalux [17] .....	23

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

Figura 19: Controlador AXC F 1152 de Phoenix Contact [6] .....	24
Figura 20: Módulo de entradas y salidas distribuidas de Phoenix Contact empleado en el proyecto [6].....	24
Figura 21: Módulo de 16 salidas digitales de la gama Inline de Phoenix Contact [6] .....	25
Figura 22: Interfaz de usuario de la estación 1 .....	29
Figura 23: Interfaz de usuario de la estación 2 .....	31
Figura 24: Interfaz de usuario de la estación 3, salvo el indicador luminoso de emergencia ....	33
Figura 25: Interfaz de usuario de la estación 4 .....	35
Figura 26: Programa principal en SFC de la estación 1 .....	36
Figura 27: Acción de llenado de palés de la estación 3 programada en texto estructurado (ST) .....	37
Figura 28: Estructura de la programación del proyecto en Codesys .....	38
Figura 29: Generación de cajas al inicio de la línea en la simulación de Factory I/O.....	41
Figura 30: Cajas paletizadas en el gemelo digital dentro de Factory I/O.....	42
Figura 31: Ejemplo de la configuración de las variables en el servidor OPC con KEPServerEX 6 42	
Figura 32: Ejemplos de conexiones de la estación 1 entre el servidor OPC y la simulación de Factory I/O.....	43
Figura 33: Modelado en Factory I/O del principio de la estación 1 .....	44
Figura 34: Modelado en Factory I/O del final de la estación 1 .....	44
Figura 35: Modelado en Factory I/O del cuadro de mandos de la estación 1 .....	44
Figura 36: Modelado en Factory I/O de la estación 2 .....	45
Figura 37: Modelado en Factory I/O del cuadro de mandos de la estación 2 .....	45
Figura 38: Modelado en Factory I/O de la parte superior de la estación 3 .....	46
Figura 39: Modelado en Factory I/O de la parte inferior de la estación 3.....	46
Figura 40: Modelado en Factory I/O del cuadro de mandos de la estación 3 .....	47
Figura 41: Modelado en Factory I/O de la estación 2 .....	47
Figura 42: Pruebas de la primera estación en simulación.....	48
Figura 43: Pruebas de la segunda estación en simulación.....	49
Figura 44: Pruebas de la tercera estación en simulación.....	49
Figura 45: Pruebas de la cuarta estación en simulación .....	50
Figura 46: Pruebas generales de la línea de producción simulada .....	50
Figura 47: Prueba de almacenamiento de palés con cajas en simulación.....	51
Figura 48: Vista general de la línea de clasificación y paletizado de cajas simulada .....	52

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

### Índice de tablas:

Tabla 1: Equipamiento usado en la construcción de la línea de clasificación proyectada .....	26
--	----

## Índice del Presupuesto

1 Cuadros de precios .....	1
1.1 Materiales .....	1
1.2 Mano de obra .....	2
1.3 Equipos amortizados linealmente .....	2
2 Cuadro de precios descompuestos .....	3
3 Cuadro de precios unitarios .....	5
4 Cuadro de presupuesto base de licitación .....	6

### Índice de tablas:

Tabla 1: Cuadro de precios de los materiales .....	1
Tabla 2: Cuadro de precios de la mano de obra.....	2
Tabla 3: Cuadro de precios de los equipos de uso habitual.....	2
Tabla 4: Cuadro de precios descompuestos.....	3
Tabla 5: Cuadro de precios unitarios.....	5
Tabla 6: Cuadro de presupuesto base de licitación .....	6

## Índice del Pliego condiciones

1 Objeto .....	1
2 Plazos .....	1
3 Ubicación .....	1
4 Normativa Aplicable .....	1
5 Condiciones Generales .....	2
6 Condiciones Técnicas.....	2
6.1 Materiales .....	2
6.2 Ejecución .....	3

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

7	Condiciones Facultativas .....	4
7.1	Obligaciones del director de montaje .....	4
7.2	Obligaciones del director de programación .....	4
7.3	Facultades de la dirección técnica .....	4
8	Condiciones Económicas .....	4
8.1	Principio General .....	4
8.2	Fianzas .....	5
8.3	Pagos .....	5
8.4	Precios generales .....	5
8.5	Garantía y asistencia técnica .....	5
9	Condiciones Económicas .....	6
9.1	Perfil del contratista .....	6
9.2	Forma de adjudicación .....	6
9.3	Formalización del contrato .....	6
9.4	Arbitrio .....	6
9.5	Responsabilidad del contratista .....	6

## Índice del Plano

1 Distribución en planta

## Índice del Anexos

### ANEXO 1: Manual de usuario

1	Estación 1 .....	2
2	Estación 2 .....	3
3	Estación 3 .....	4
4	Estación 4 .....	5

### ANEXO 2: Programas

1	Codesys .....	7
1.1	Variables Globales (GVL) .....	7
1.2	Programa auxiliar .....	11
1.2.1	Variables internas .....	11

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital

1.2.2 Programa principal .....	11
1.3 Programa estación 1 .....	12
1.3.1 Variables internas .....	12
1.3.2 Árbol del programa con acciones y transiciones .....	13
1.3.3 Programa principal .....	13
1.3.4 Acciones .....	15
1.3.5 Transiciones .....	17
1.4 Programa estación 2 .....	19
1.4.1 Variables internas .....	19
1.4.2 Árbol del programa con acciones y transiciones .....	19
1.4.3 Programa principal .....	20
1.4.4 Acciones .....	22
1.4.5 Transiciones .....	24
1.5 Programa estación 3 .....	26
1.5.1 Variables internas .....	26
1.5.2 Árbol del programa con acciones y transiciones .....	26
1.5.3 Programa principal .....	27
1.5.4 Acciones .....	33
1.5.5 Transiciones .....	35
1.6 Programa estación 4 .....	37
1.6.1 Variables internas .....	37
1.6.2 Árbol del programa con acciones y transiciones .....	37
1.6.3 Programa principal .....	38
1.6.4 Acciones .....	45
1.6.5 Transiciones .....	46
2 KEPServerEX .....	47
3 Factory I/O .....	49

---

DOCUMENTO N°1:

**MEMORIA**  
**DESCRIPTIVA**

---

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

El proyecto desarrollado en este Trabajo de Fin de Máster consiste en el diseño de una línea logística que permita la clasificación de cajas de diversos tamaños para su paletizado y almacenamiento. Este diseño estará pensado para su implementación real previa simulación con gemelo digital. En esta introducción se establecerán los objetivos, el contexto de la automatización, el estudio del proceso y la discusión de alternativas para su implementación.

### **1.1. Objetivos del documento**

#### **1.1.1 Objetivo general**

Para este proyecto se establece como objetivo principal la automatización total de una línea industrial de clasificado de cajas, paletizado de las mismas y su correspondiente almacenamiento. Las tareas necesarias para realizar con éxito este desarrollo contribuyen en la obtención de una mayor habilidad del ingeniero responsable en las herramientas, tanto de software como de hardware, presentes en la automatización industrial. Este complemento a los conocimientos teóricos obtenidos durante la especialización del máster universitario de ingeniería industrial se materializará en una mejor preparación para la integración en el mercado laboral.

#### **1.1.2 Objetivos específicos**

1. Diseñar una línea logística robusta y modular para aportarle una gran flexibilidad ante variaciones en las necesidades del proceso productivo. Las operaciones deberán poder detenerse ante emergencias o sucesos imprevistos, garantizando la seguridad de las personas y la integridad de los equipos de producción.
2. Analizar las diferentes alternativas que ofrece el mercado en la actualidad, tanto de tecnologías como de marcas y gamas de productos con las que cuenten. Todo ello para la elección dentro de la gran variedad de equipos y tecnologías de aquellos que se adapten de una forma óptima al proyecto planteado.
3. Programación de la lógica necesaria para el funcionamiento de la estación en el PLC. En concreto, se han utilizado diagrama de contactos, texto estructurado y diagrama de funciones secuenciales. Todas estas herramientas de programación se han ido alternando según las necesidades de cada uno de los subsistemas.
4. Establecimiento del interconexionado de los equipos empleados y la disposición de los controles físicos necesarios para el control de las funcionalidades previstas.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

5. Simulación de la instalación en conjunto a través de la creación de un gemelo digital capaz de simular tanto los equipos implementados como los productos procesados con físicas realistas.
6. Redacción de la documentación relacionada con el proyecto, tanto de las etapas de diseño como el desglose de la inversión correspondiente para un análisis de su viabilidad. Esta documentación es imprescindible para estudiar la viabilidad del proyecto y sus posibles aplicaciones reales.
7. Adaptar la realización de este proyecto a las condiciones cambiantes producidas por la pandemia de la COVID-19 para mitigar los efectos negativos que esta pueda tener. Así como también basar las pruebas en la simulación del sistema evitando la presencialidad al máximo posible.

### 1.1.3 Motivación

Tras un largo estudio de la rama automática de la ingeniería industrial en la Universitat Politècnica de València, ha quedado patente su gran peso en los procesos industriales y en otros aspectos cada vez más presentes en nuestra sociedad como la optimización en las ciudades inteligentes. Persiguiendo el acercamiento a la automatización desde un enfoque práctico a los problemas que esta disciplina es capaz de resolver, se ha escogido un tipo de proyecto en torno al que se basa este Trabajo Final de Máster que facilite la adquisición de experiencia en la aplicación práctica de diversos conceptos e ideas vistas en la especialización del máster.

Los conocimientos en los que se pretende profundizar están estrechamente relacionados con la tendencia mundial de la industria hacia la automatización en una industria 4.0 donde el proceso productivo se personaliza para cada cliente. En concreto, en las instalaciones donde todo está automatizado es necesaria la utilización de un gran número de sensores y actuadores. Por tanto, los conocimientos en periferia distribuida son fundamentales como el primer escalón hacia la automatización líneas de producción.

Esta implementación a bajo nivel es fundamental para la toma de datos que luego se emplearán para la mejora del proceso, así como la correcta ejecución de las operaciones. Sin una buena elección de los controladores y tecnologías de comunicación, así como de los sensores y disposición, el proceso ni funcionará correctamente ni podrá optimizarse al máximo. En consecuencia, las bases en estas materias que se pretenden mejorar con este proyecto servirán indudablemente al ingeniero que lo realiza para obtener un mayor valor añadido en el mercado laboral de la automatización.

El proyecto elegido se enfoca a la parte logística de las empresas, en concreto al paletizado y almacenamiento. Debido a la COVID-19 el negocio online y la optimización de la logística de las empresas han tomado un papel fundamental. Y no solamente esta parte, la cual es fundamental en la mayoría de las empresas, sino también el mayor protagonismo de empresas que exclusivamente se encargan de labores logísticas.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 1.2 Antecedentes del proyecto

A continuación, se expondrá la problemática que pretende resolver el proyecto, contextualizándola desde el punto de vista histórico de la automatización industrial. Por un lado, será necesario describir el proceso industrial que se pretende automatizar. Posteriormente ya se matizan las especificaciones y limitaciones concretas que se deben cumplir por parte de la solución.

### 1.2.1 Automatización industrial

La automatización industrial engloba el conjunto de sistemas y elementos electromecánicos cuya finalidad es la ejecución de procesos industriales de la forma más eficiente y autónoma posible. Desde sus inicios la automatización ha actuado siempre bajo la premisa de una mínima intervención de las personas en las labores productivas que puedan ser ejecutadas por máquinas, evitando la repetitividad y monotonía de los trabajadores. Esto permite evitar labores que provoquen elevado estrés y fatiga, en las cuales los empleados no generan un gran valor añadido a la empresa como sí lo harían en tareas cualificadas.

Otra de las cualidades positivas de la automatización es un aumento en la productividad gracias a la elevada velocidad en las operaciones y bajo ratio de fallos que se obtienen. Gracias a ello se produce una disminución de los costes y una mejora en la calidad de los productos. También se debe tener en cuenta la elevada velocidad y flexibilidad que se aspira conseguir con la automatización, a la hora de adaptarse desde la producción a las condiciones cambiantes en el mercado.

Dentro de la disciplina de automatización industrial se pueden distinguir dos partes fundamentales [1]:

- Parte operativa: Actuadores físicos que intervienen directamente en el proceso. Esto engloba tanto los actuadores como los sensores que obtienen la información del estado del sistema.
- Parte de control: Dispositivos encargados de la coordinación de la parte operativa, procesando la información recibida por los sensores y los parámetros del usuario para activar los actuadores que corresponda. Dentro de esta parte toman especial importancia los controladores PLC que incluyen captadores de información de los sensores, comunicaciones con el usuario, la lógica de control y la capacidad de emitir las órdenes de mando.

Toda la programación necesaria para la ejecución del proyecto se estructura dentro del PLC en la parte de control de la instalación. Los PLC son controladores lógicos programables, es decir, son computadoras digitales pensadas para el uso en entornos industriales capaces de almacenar instrucciones y funciones específicas que permitan la automatización de una instalación [2]. Entre ellas se incluyen operaciones secuenciales, temporizadores, contadores o bases de datos con entradas y salidas.

Debido al carácter crítico de estos sistemas dentro de la producción, la fiabilidad y consistencia durante su funcionamiento son críticas para garantizar una producción continua. También su carácter modular garantiza una elevada flexibilidad tanto para reparaciones como para realizar

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

modificaciones durante la actualización de procesos productivos, reduciendo tanto el tiempo como el coste. Este tipo de sistemas automatizados tienen como principal aspecto negativo la necesidad de personal cualificado en su instalación y mantenimiento, junto con un coste inicial más elevado.

### 1.2.2 Descripción del proceso a automatizar

En las industrias manufactureras con el paso de los años y tras una búsqueda constante de la optimización se ha llegado a la situación donde la minimización de los stocks es fundamental. Cuantos más productos y más variedad de clientes tienen los proveedores esta labor se complica sin incrementar los plazos de entrega. Como solución ampliamente adoptada se puede observar el gran número de empresas que producen por lotes de tamaños variables.

Una elevada flexibilidad en la producción se traduce necesariamente en la parte final de la producción, donde se sitúa la parte logística que incluye el empaquetado final y almacenamiento temporal para el envío. Suponiendo una empresa que varíe su producción entre artículos de distinto tamaño, tanto su embalaje como su posterior almacenado deberá adaptarse a estos cambios de forma dinámica con la producción.

Partiendo de esta situación un proceso automatizado al final de la línea productiva debe ser capaz de distinguir la llegada de distintos artículos y procesarlos conforme a sus necesidades. Estos objetos fabricados estarán ya introducidos en cajas de cartón vendrán por una cinta única tras juntar toda la producción en la misma para su almacenamiento. El proceso contará con una primera etapa de clasificación que en función del peso y las dimensiones de las cajas. A partir de ahí cada uno de los tipos de caja se desviará a una etapa independiente para cada una donde se paletizarán y/o almacenarán según las necesidades concretas de la empresa.

Mientras que cajas de menores dimensiones necesitarán un proceso de paletizado más elaborado, las cajas de mayor tamaño con un proceso más simple tanto de paletizado como de almacenado temporal es suficiente. Es posible que alguna de estas etapas se pueda realizar de forma manual, especialmente en cajas de elevado tamaño, debido a su menor producción. La línea por tanto se centrará en el clasificado, pudiendo flexibilizarse la forma con la que se trabaja cada tipo de caja.

### 1.2.3 Especificaciones y limitaciones

Las especificaciones establecidas por el ingeniero responsable del proyecto con tal de que la solución sea competitiva y rentable en el mercado son las siguientes:

- Todas las cajas llegarán por la misma cinta, existiendo una separación suficiente entre ellas para que el proceso de clasificación pueda tardar de media unos 5 segundos por caja. La llegada es aleatoria en cuanto al tipo de caja.
- Se necesita la identificación y separación de 3 tipos de cajas con distintas dimensiones y pesos. La caja pequeña se diferencia por su menor peso mientras que las medianas y grandes su principal diferencia será la altura.
- Los dos tipos de caja de menor tamaño deberán ser paletizadas automáticamente mientras que las de mayor tamaño simplemente se desviarán para un paletizado manual.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

- El proyecto deberá contar un almacenamiento automático para palés de cajas pequeñas con una capacidad de palés simultáneos mínima de 100.
- La instalación deberá contar con zonas independientes para facilitar la modularidad y flexibilidad para realizar cambios en función de los tipos de productos producidos y su embalaje.
- Cada zona deberá contar con setas de emergencia independientes junto con indicadores luminosos de alarma que permitan la parada independiente en cada sección.
- La disposición y cantidad de elementos para la monitorización y control de la instalación deberán priorizar la sencillez y practicidad para los operarios.

Al margen de las especificaciones de la aplicación, todos los proyectos de automatización como el presentado en esta memoria deben seguir una serie de normativas vigentes en España:

- **UNE-EN IEC 61131:2019**: Estándar Internacional para autómatas programables emitido por la Comisión Electrotécnica Internacional.
- **UNE-EN 60848:2013**: Lenguaje de especificación GRAFCET para diagramas funcionales secuenciales.
- **UNE-EN 61508:2011**: Seguridad funcional de los sistemas electrónicos programables relacionados con la seguridad.
- **UNE-EN 60870-5-101:2003**: Norma para las funciones básicas de los equipos y sistemas de telecontrol.
- **UNE-EN 60870-5-104:2006**: Protocolos de transmisión. Acceso a redes utilizando perfiles de transporte normalizados por la norma IEC 60870-5-101.
- **UNE-EN 62439:2018**: Redes de comunicación industrial. Redes de automatización de alta disponibilidad.
- **UNE-EN ISO 13849-1:2006 y 13849-1:2006**: Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad.
- **UNE-EN ISO 13850:2016**: Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño.
- **UNE-EN IEC 62541:2020**: Arquitectura unificada OPC.
- **RD 842/2002** de 2 de agosto de 2002: Reglamento electrotécnico para baja tensión.

#### 1.2.4 Diagrama de bloques del sistema

Para mostrar de forma más visual el funcionamiento del sistema en su conjunto, a continuación, se presenta un diagrama de bloques inicial en la Figura 1. En él se presenta de forma ilustrativa los diferentes pasos que se dan para clasificar las cajas y el procesamiento que requieren cada una de ellas.

Será en base a estos flujos y operaciones sobre los que se realizarán las labores de diseño de la planta. Como consecuencia al menor volumen de cajas de mayor tamaño que llegan a la línea, se ha optado por un procesado mayormente manual debido a que la automatización difícilmente es justificable económicamente. Sin embargo, será posible ampliar la línea en este punto si en un futuro la cantidad aumenta.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

De la misma forma, debido al tamaño de los lotes de las cajas pequeñas se ha establecido la necesidad de un almacenamiento automático de palés. Sin embargo, los palés de cajas pequeñas serán procesados manualmente al ser su cantidad acumulada en la empresa media considerablemente menor.

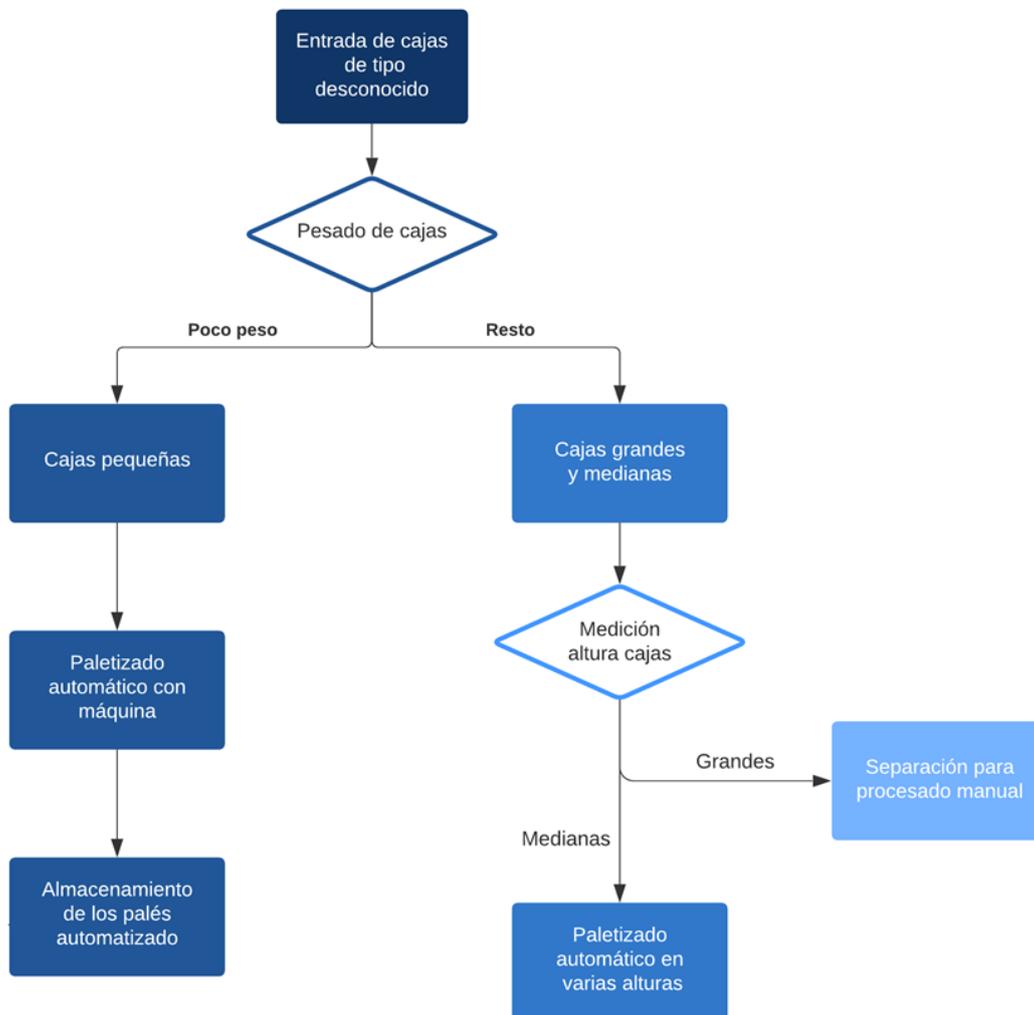


Figura 1: Diagrama de bloques con los flujos y operaciones previstas en la línea

### 1.3 Estudio de alternativas

Dentro del mercado de componentes para la automatización industrial existen diversas empresas que ofrecen soluciones integrales para la gestión de gran número de sensores y actuadores. Se valorarán varias de estas posibles soluciones, las cuales es necesario que integren tanto la parte física de hardware como el software para la programación y protocolos de comunicación.

Previamente al diseño de la línea se analizarán globalmente las distintas propuestas para optar por la que mejor se adapte al concepto inicial que se pretende desarrollar en el proyecto. Una vez decidida, se detallará más adelante los equipos concretos y su número.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 1.3.1 Omron

En primer lugar, se analiza la gama de productos de Omron. Omron es una empresa japonesa con mucha tradición en equipos y sistemas para la automatización industrial [3]. Pese a no ser el fabricante con mayor cuota de mercado en España, debido a la formación recibida previamente por el ingeniero respecto a PLCs de esta empresa en la Universidad el periodo de adaptación es mínimo. Esto sumado al enfoque de Omron por la sencillez y practicidad la convierten en una opción muy atractiva para este proyecto.

#### 1.3.1.1 Hardware

En los últimos años Omron ha centrado sus esfuerzos hacia el control de máquinas con movimiento en varios ejes. Todo ello sin descuidar sus funcionalidades de automatización anteriores. Dentro de las gamas de PLCs destaca la CJ2, debido a modularidad. Con ella es posible contar con entradas y salidas distribuidas, algo fundamental a la hora de trabajar con equipos muy separados entre ellos como es el caso de este proyecto.



Figura 2: Controlador programable Omron CJ2 [4]

La gama CJ2 cuenta con una gran adaptabilidad en cuanto a potencia de cálculo, pudiéndose optar por hasta 400.000 pasos de memoria de programa o hasta 832000 palabras de almacenamiento de datos. Esta flexibilidad también está presente en cuanto a los protocolos de comunicación disponibles, siendo estos: DeviceNet, EtherNet, EtherNet/IP, ModBus, PROFIBUS-DP, PROFINET, CompoBus/S, CompoNet y Controller Link [4].

Los módulos de entradas y salidas distribuidas de Omron pertenecen a su gama SmartSlice. Cuentan con datos de diagnóstico y mantenimiento preventivo, lo cual junto con la modularidad característica de estos equipos dotan a la instalación de reparaciones rápidas, incluso deteniéndose solamente alguna sección de la línea.



Figura 3: Sistema de salidas y entradas distribuidas SmartSlice de Omron [4]

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### *1.3.1.2 Software*

En cuanto al software, desde Omron se ha desarrollado CX-One como una suite que permite la programación de cualquiera de sus dispositivos. Gracias a esta centralización, solamente es necesario una instalación y licencia. Adicionalmente integrado en CX-One para la realización de pantallas HMI se encuentra el CX-Designer y para el diseño de SCADA de forma separada se encuentra el CX-Supervisor. Estos programas son compatibles con CX-One y su simulación de PLC para las pruebas necesarias.

El enfoque práctico presente en la propuesta de Hardware de Omron se ve potenciado en el planteamiento de todo su software. CX-One se centra en las funcionalidades más utilizadas en la programación de PLCs como la simulación o inclusión de lenguaje de contactos, texto estructurado y SFC. En lugar de saturar los programas con opciones enrevesadas que rara vez cuentan con utilidad en un entorno real, desde Omron el foco se centra en la eficiencia del programador. La sencillez y la velocidad en la interfaz y operaciones dentro del software permiten a los ingenieros emplear mayor parte de sus esfuerzos en la resolución del problema y no tanto en la implementación de la solución.

### **1.3.2 Siemens**

Dentro del sector de la automatización industrial, Siemens cuenta con una posición de liderazgo tanto a nivel global como especialmente en España con su gran cuota de mercado. Con sede en Alemania, Siemens cuenta con un amplio abanico de productos enfocados a las instalaciones industriales abarcando aparte de soluciones enfocadas a la automatización elementos más propios de las instalaciones eléctricas y mecánicas.

En general, sus productos cuentan con una mayor funcionalidad comparado con otros competidores como Omron. Esta complejidad trae consigo una curva de aprendizaje mucho más exigente debido a la cantidad de ajustes y características. A la hora de entender cómo usar o diagnosticar problemas surgidos entre estas nuevas interacciones de los dispositivos es necesario una inversión elevada en formación por parte del ingeniero desarrollador.

#### *1.3.2.1 Hardware*

Los PLCs de Siemens se diferencian entre la gama más básica de los SIMATIC S7-1200 y los SIMATIC S7-1500 que conforman la gama avanzada de controladores. Con ellos se podría centralizar todo el control de la línea en un único PLC de forma compacta. Según los requerimientos de potencia de cálculo del PLC se escogería un S7-1200 preferentemente si las opciones de CPU y memoria son suficientes [5].

El sistema de entradas y salidas distribuidas se denomina ET 200SP. A diferencia de otras marcas, existe la posibilidad de dotar con cierta potencia procesamiento a cada uno de los dispositivos. Es decir, podría emplearse una estructura donde una ET 200SP llevase la potencia equivalente a un PLC de la serie S7-1500 que se encargase de gestionar el resto de las estaciones. También se podría emplear un PLC independiente con el control centralizado y dejar las entradas y salidas distribuidas simplemente para la comunicación.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

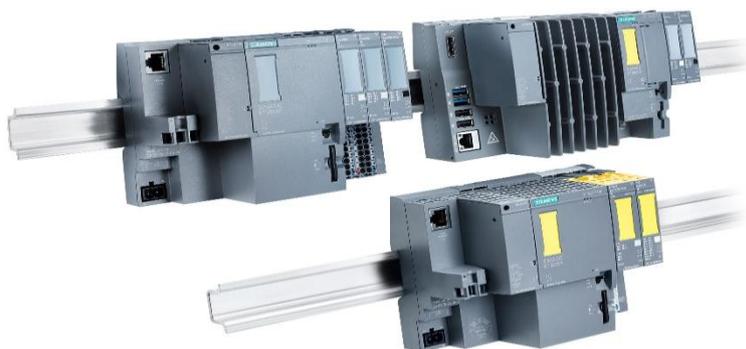


Figura 4: Distintos equipos de la serie ET 200SP de Siemens [5]

### *1.3.2.2 Software*

El paquete de software de Siemens se denomina TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal). En esta suite se incluyen herramientas de simulación, herramientas de diagnóstico avanzado, gestión de energía o una conexión avanzada con las plataformas de gestión empresarial. Todo ello incluyendo las herramientas propias de la programación de PLC y la realización de pantallas HMI.

Siemens apuesta por la transformación de las empresas a través de la planificación digital para una operación transparente. A través de la integración de los componentes claves como el control, HMI, motores y la distribución de la energía se pretende complementar la gestión con PLM y MES hasta alcanzar la industria 4.0. La operación transparente supone una consistencia de los datos y una transparencia máxima de la información útil a través de la integración de todos los componentes.

En cuanto a programación cuenta con herramientas muy potentes para la gestión de bases de datos. También cuenta con la posibilidad de trabajo colaborativo entre varios programadores o el alojamiento en la nube para una mejor gestión del sistema.

### **1.3.3 Phoenix Contact**

Como última alternativa se plantea la compañía con sede alemana Phoenix Contact. El enfoque innovador y orientado al cliente de Phoenix Contact les ha permitido adoptar soluciones pensadas en las corrientes actuales de la automatización. Al igual que Siemens, cuentan con una gama de productos amplia y versátil [7]. Sin embargo, la compatibilidad de estos tanto entre ellos como con otras marcas supone un factor diferencial. Este hecho sumado a un gran esfuerzo de cara a la accesibilidad de sus productos para los usuarios convierte sus soluciones en una gran alternativa que necesita poco tiempo de adaptación inicial.

#### *1.3.3.1 Hardware*

Los últimos modelos de PLC son los PLCNext [8], pioneros en la nueva plataforma de automatización abierta basada en Linux. Es posible combinar la programación en lenguajes IEC 61131-3 diversos, como el Codesys, junto con herramientas que empleen lenguajes de alto nivel que en rutinas de C/C++, Matlab Simulink de forma simultánea. Cuenta con una amplia gama de módulos tanto de ampliación directa como de entradas distribuidas. Existen distintos modelos para todo tipo de potencia y además cuenta con conexión PROFINET así como

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

compatibilidad en el servidor interno con protocolos tales como https, FTP, OPC UA, SQL, MySQL y DCP.



Figura 5: Controladores PLCnext incluidos en la gama Axioccontrol de Phoenix Contact [6]

### 1.3.3.2 Software

El programa propio de Phoenix Contact es el PLCnext Engineer, el cual tiene como énfasis los ahorros en tiempo y costes derivados de una programación con menor esfuerzo. Esto es gracias a una interfaz muy optimizada y a la integración de complementos y módulos de automatización y programación. Al seguir el estándar IEC 61131-3 permite la rápida adaptación para los usuarios que usen otros programas que sigan este estándar mundial para programación.

Entre estos programas destaca el Codesys, el cual también puede ser usado en estos PLCs gracias a su arquitectura abierta. Este es el programa independiente de un fabricante más usado bajo este estándar [9]. Gracias a ser una empresa de software independiente es capaz de implementar nuevos conceptos de forma rápida y efectiva. Este programa es uno de los más completos y versátiles gracias a la cantidad de desarrollo externo enfocado a módulos y librerías. Este desarrollo es posible gracias a la compatibilidad del programa con todas las marcas que quieran, así como un enfoque abierto del ecosistema.

Cuenta con versiones gratuitas las cuales incluyen todas las funcionalidades características como unas herramientas avanzadas de diagnóstico, simulación, gran cantidad de librerías y módulos para distintas marcas y equipos, así como programación en texto estructurado (ST), GRAFCET (SFC), esquema de contactos (LD) o diagrama de bloques de función (FBD).

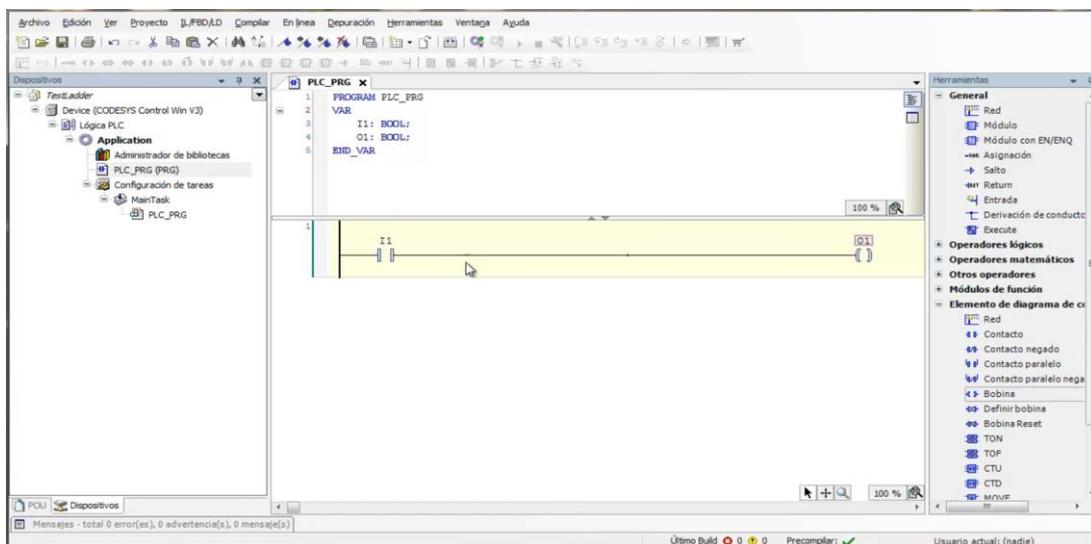


Figura 6: Interfaz de Codesys

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 1.3.4 Conclusiones de alternativas en marcas para el hardware y software

Tras un análisis de las 3 empresas valoradas como posibles alternativas para la elección del hardware y software del proyecto se puede asegurar que con las 3 se podría realizar el proyecto satisfactoriamente. Por tanto, la decisión se debe tomar teniendo en cuenta factores como la facilidad de implementación, flexibilidad o el coste estimado.

El primer análisis se ha realizado sobre la oferta de Omron. Como ventajas que presentaba se encontraba la familiaridad del ingeniero realizador del proyecto con sus PLC y programas, así como unos precios competitivos. Como mayor punto negativo se puede destacar como la mayor simplicidad en cuanto a funcionalidades de Omron si bien facilita el uso de sus programas también resta flexibilidad y características a sus soluciones.

En cambio, Siemens ofrece una alternativa contraria, donde sus ventajas son la gran cantidad de funcionalidades y un soporte excelente por parte de la marca. Si bien todas estas herramientas avanzadas pueden ser de utilidad, su uso requiere una alta especialización en la plataforma y puede conllevar a una mayor complejidad en las actividades más básicas a la hora de implementar un proyecto de automatización. Esto sumado con un coste normalmente más elevado y una peor compatibilidad con equipos de otras marcas no lo hacen la solución más idónea.

Finalmente se determina que Phoenix Contacto ofrece la solución más completa, encontrando un punto intermedio entre la facilidad para la implementación y un abanico enorme de posibilidades en cuanto a software. Al ser una plataforma abierta permite el uso de Codesys para su programación, el cual si bien no ha sido empleado por el ingeniero responsable del proyecto con anterioridad al seguir un estándar mundial será más fácil esta transición. Todo lo aprendido con este programa puede ser portado a otros programas del mismo estándar, los cuales incluso pueden ser combinados en este o futuros proyectos que tengan como base el hardware empleado en esta línea.

Debido a su carácter abierto la integración con las otras partes de la fábrica, las cuales a priori no se conoce con que marcas se han automatizado, será relativamente fácil que con otras alternativas más restrictivas. Otra de las facilidades con las que cuenta esta alternativa es que el programa tanto para la programación como para la simulación son gratuitos y no requieren licencia. Esto hace más fácil tanto la programación inicial, pudiendo cambiar de alternativa en caso de ver que con esta deja de ser factible sin coste adicional. También facilita el soporte futuro de la instalación, pudiendo instalar el software empleado en ordenadores situados dentro de la instalación y no solamente en el del programador inicial sin necesidad de nuevas licencias.

Por último, la solución de Phoenix Contact tiene como protocolo de comunicación preferente a la hora de conectar las distintas estaciones de la línea PROFINET. Por lo tanto, en caso de necesitar comunicarse con el PLC del proyecto se deberá usar este protocolo, ya sea para las entradas y salidas distribuidas como para conectar en un futuro pantallas u otro tipo de dispositivos por comunicación.

## **CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN**

En el siguiente capítulo se va a desarrollar el diseño de la línea de producción siguiendo el diagrama planteado inicialmente en función de las tareas necesarias. Como referencia de forma previa se van a estudiar otras líneas de producción existentes en la actualidad, incluyendo tanto la distribución como las tecnologías de automatización actuales usadas en ellas. Se procurará emplear la mayor variedad de elementos tanto sensoriales como de control con tal de que el ingeniero proyectista amplíe su experiencia con estos equipos para futuros proyectos.

Se divide la línea en 4 zonas independientes, denominadas estaciones, en las que se agrupará el proyecto. En la primera zona se separarán las cajas según su tamaño. En la segunda zona se realizará el paletizado con las cajas medianas procedentes de la zona de clasificación. Las otras dos zonas restantes se encargan de procesar las cajas pequeñas, realizándose la paletización en la tercera zona y el almacenamiento automáticos de los palés en la cuarta.

Para cada estación se establecen las operaciones que debe ejecutar y la lógica que debe seguir en su automatización. Finalmente, tras definir cada una de las estaciones se determinarán los equipos necesarios para cada una de ellas, elaborando con ello un listado de equipos.

### **2.1 ESTACIÓN 1: Clasificación de las cajas**

En la primera estación se reciben a través de una cinta cajas de 3 tamaños distintos y mezclados de forma aleatoria entre ellos. También existe cierta variabilidad en el tiempo entre caja y caja. Se considera que es bastante estable y con una media de unos 5 segundos entre cajas. Para diseñar por el lado de la seguridad se considera un tiempo medio de 4 segundos entre cada caja. La velocidad de todas las cintas para las cajas se fija en 0.6 metros por segundo, lo que afectará en la rapidez de procesamiento de las cajas en su clasificación. Si bien es cierto que esta velocidad puede afectar a los tiempos de espera en las estaciones 2 y 3 donde trabajan también con cajas, es un factor crítico para fijar el tiempo que debe esperar una caja a que se procese la anterior antes de continuar en la estación 1.

#### **2.1.1 Operaciones ejecutadas**

Para la clasificación de las cajas se realizarán dos mediciones. Primero un pesaje permitirá separar las cajas pequeñas al ser las únicas que pesan menos de 5 kilogramos, siendo las medianas y grandes de más de 8 kilogramos de masa. El pesaje se podrá realizar con la caja en movimiento, ya que la báscula estará integrada en una cinta. Esta separación se realizará trasladando algunas cajas a otra cinta perpendicular a la de entrada con una barrera móvil con

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

cinta incorporada. Esta barrera móvil permitirá una transición suave entre ambas cintas, evitando en la medida de lo posible los golpes secos que produciría por ejemplo un empujador lateral con pistón. Por cada una de las dos operaciones presentes en la primera parte de la estación solamente puede haber una caja simultáneamente.

Las cajas pequeñas seguirán por la cinta de entrada a la línea en dirección a la estación 3 mientras que las cajas restantes (medianas y grandes) se desvían a otra cinta. Esta decisión se fundamenta en el hecho de que el brazo desviador funciona mejor con las cajas medianas y grandes, por lo que es preferible dejar las cajas pequeñas en la cinta por la que entran.

Sobre la nueva cinta con las cajas medianas y grandes se realizará nuevamente una clasificación. El criterio que se seguirá esta vez es el de la altura. La medición se realizará sobre las cajas en movimiento al pasar por un sensor. En este caso se desviarán las cajas grandes a una rampa debido a que su cantidad va a ser menor y no cuentan con una operación de paletizado automática. Las cajas medianas proseguirán por la cinta hasta la estación 2 donde serán paletizadas automáticamente. La primera parte de la estación garantiza que las cajas pequeñas y grandes están suficientemente espaciadas para su separación en esta segunda parte, por lo que las cintas no necesitan pararse.

### **2.1.2 Funcionalidades de la estación**

La estación partirá desde una estación de reposo donde todas las cintas estarán detenidas. De forma inicial habrá una seta de emergencia que determine si existe un peligro o situación que deba detener la estación. Esta seta puede ser complementada con otras alertas como fallos en los variadores de alguna de las cintas o entrada de un operario en el perímetro, para lo que habría que configurar nuevas entradas en el PLC. De esta situación de emergencia, una vez desaparecidas las señales de alerta, se pasará a una situación de rearme en la que se deberá rearmar la estación con una señal para volver a la situación de reposo inicial.

Solamente a partir de la situación de reposo inicial y sin ninguna emergencia activa se podrá arrancar la estación, pasando a un estado de funcionamiento. Como elemento característico de esta estación respecto al resto se introduce la posibilidad de parar la estación con cajas en mitad de la clasificación. Esta parada terminará de desplazar las cajas que ya haya sido determinada su ruta en una de las dos divergencias que se encuentran en la estación: la determinada por el peso y la determinada por la altura. Mientras estas cajas terminan la etapa de clasificación por la que estaban discurrendo, el resto de las cajas que lleguen se irán acumulando hasta el rearranque de la estación en posiciones adecuadas.

Una vez detenidas todas las cajas debido a que no hay ninguna caja dentro de una fase de la clasificación pendiente, la estación pasará nuevamente al estado de reposo. Con la diferencia de que la estación habrá almacenado cierta información que permita la reanudación de la marcha teniendo en cuenta información sobre las cajas que se habían quedado paradas. La información de la estación recopilada sobre las cajas en tránsito para garantizar una parada correcta se reiniciará tras la pérdida de alimentación, o tras pasar por la situación de emergencia al realizar el rearme.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 2.1.3 Layout de la estación

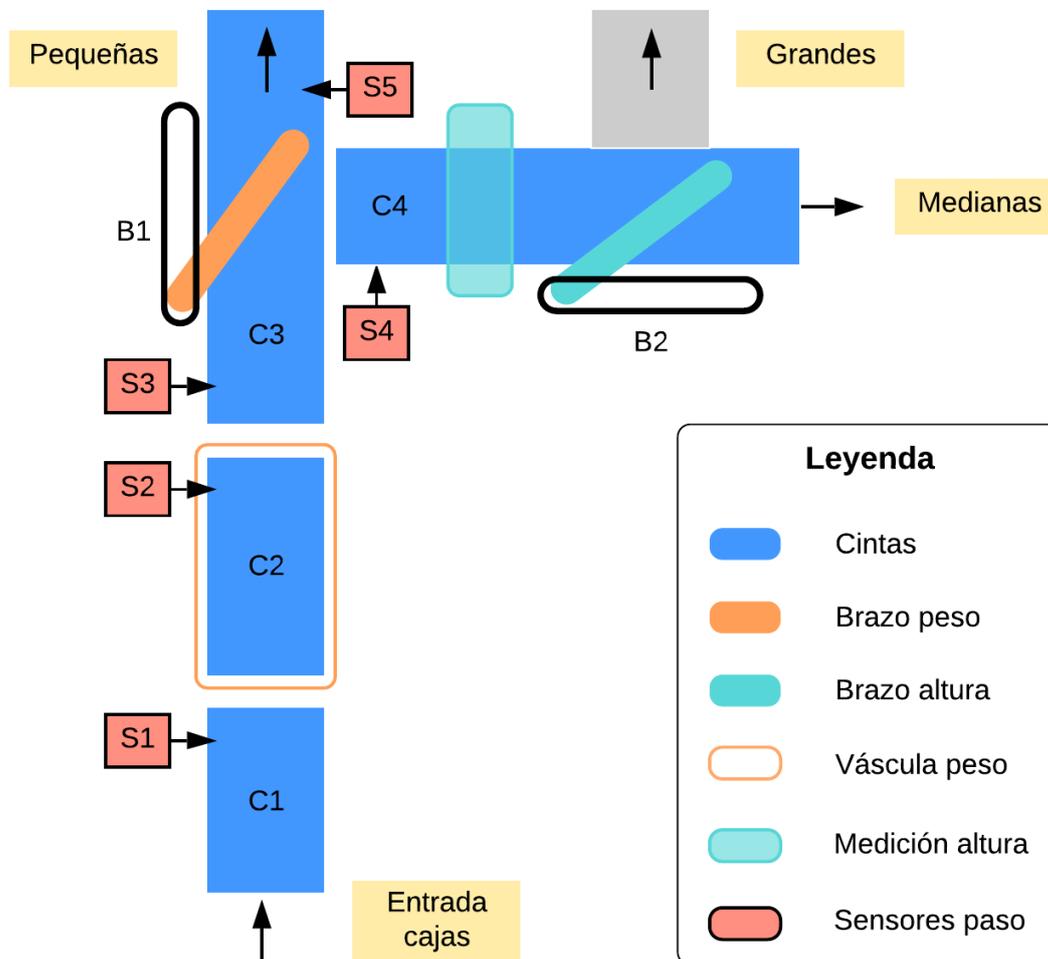


Figura 7: Layout de la estación 1

## 2.2 ESTACIÓN 2: Paletizado cajas medianas

A la segunda estación llegan las cajas medianas desde la primera estación. A su vez llegan por una cinta los palés donde se paletizarán las cajas medianas en 2 columnas de 3 filas. Para la paletización se emplea un pórtico de 3 ejes el cual sea capaz de realizar distintos mosaicos en función del tamaño concreto tanto de las cajas como los palés. Tanto la renovación de los palés como la entrada de las cajas se realiza de forma totalmente automatizada.

### 2.2.1 Operaciones ejecutadas

Para ejecutar la paletización de las cajas medianas se necesitan dos productos: las cajas medianas y los palés. Por cada 6 cajas debe entrar un palé. Por tanto, la acumulación y llegada de palés es una operación que requiere menos recursos que las cajas medianas. Con la

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

finalidad de agilizar la paletización se plantea la posibilidad de acumular hasta 2 cajas medianas en caso de que no haya un palé posicionado para la paletización. Esto se consigue con 2 cintas cortas con sensores a la entrada desde la estación 1 de cajas medianas. En cambio, no existirá un acumulo de palés al ir sobre una cinta continua sin sensores. También se considera que la separación entre palés es continua y suficientemente pequeña para que no afecte negativamente al rendimiento.

Si hay un palé en posición no completo entonces cada vez que llegue una caja al final de la segunda cinta de entrada el pórtico lo posicionará en la siguiente posición libre del palé. Para ello el pórtico cogerá la caja por la parte superior mediante succión y la depositará desde arriba en su posición correcta dentro del palé. Es importante que las cajas se coloquen perpendiculares al palé de la cinta, por lo que se instalarán una serie de barreras en la cinta que alineen las cajas durante su paso por las dos cintas de entrada.

### **2.2.2 Funcionalidades de la estación**

Debido a la peligrosidad inherente del pórtico es necesario la presencia tanto de una seta de parada de emergencia como de un vallado exterior de seguridad. Para la entrada a la estación se podrá contar de forma opcional con inductivos en las puertas del vallado que solamente dejen el paso si el pórtico está detenido. Otra alternativa sería que estos inductivos funcionasen como una parada de emergencia, parando automáticamente la estación al ser abierta alguna puerta. Debido a que el pórtico no llega a ser tan peligroso como un brazo robótico, gracias a un área de trabajo mejor definida, estas medidas de seguridad serán adicionales y no se incluirán en este proyecto base.

El pórtico se detendrá en mitad del movimiento en caso de emergencia, evitando posibles golpes o daños producidos por la anomalía causante de la situación de alerta. Da igual en qué posición sea esta parada ya que lo más importante es que no se mueva en ninguna dirección. Debido a que en esta posición puede llevar o no caja el pórtico el rearme de la estación deberá tener dos etapas. Un primer rearme libera la ventosa para que en caso de haber una caja pueda ser retirada de forma segura por el operario manualmente. Una vez se ha retirado tanto la caja del pórtico como el resto de las cajas en el palé se pulsa nuevamente el pulsador de rearme para que el pórtico se sitúe en la posición de inicio sin haber ningún operario en las proximidades.

A parte de la parada de emergencia se podrá detener la estación. En concreto, una parada terminaría el posicionamiento de la caja que tenga cogida el pórtico. Una vez el pórtico no tenga ninguna caja en curso volverá a su posición inicial y esperará el rearme. La siguiente caja la posiciona correctamente en la siguiente posición libre en el palé al conservarse los datos. Para reiniciar estos datos será necesario declarar la parada por emergencia y rearmar la estación.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 2.2.3 Layout de la estación

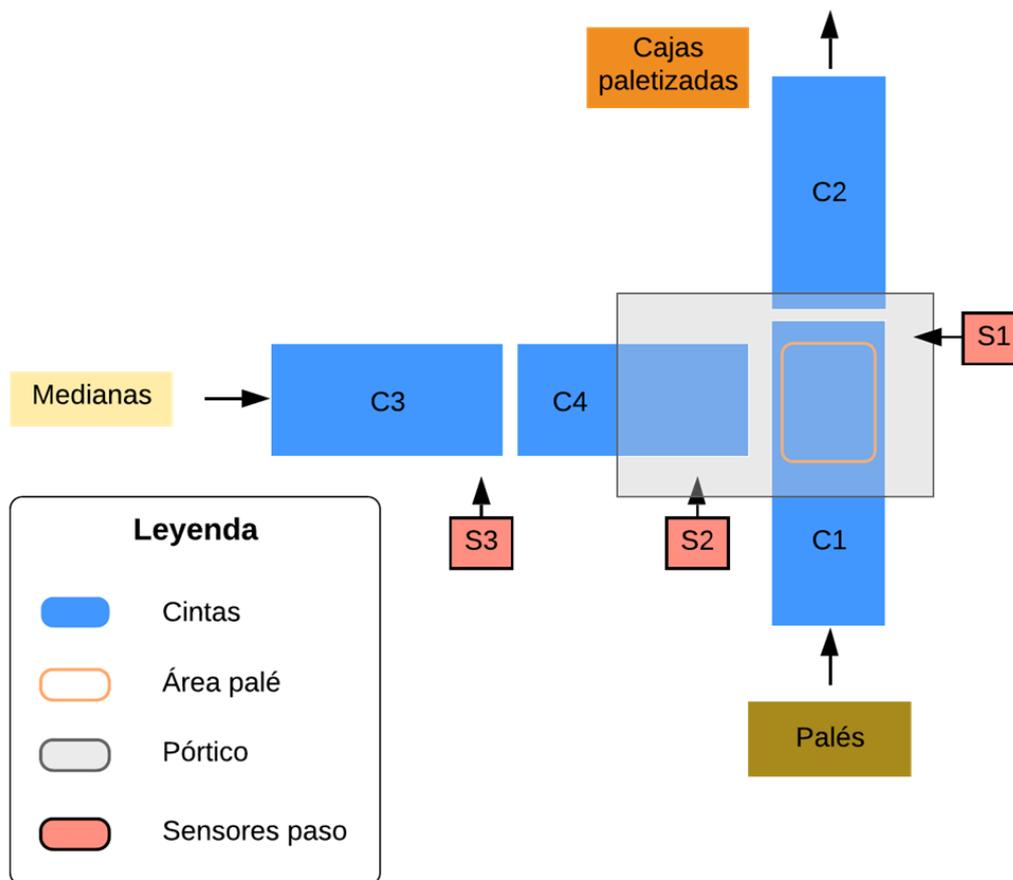


Figura 8: Layout de la estación 2

## 2.3 ESTACIÓN 3: Paletizado cajas pequeñas

Una vez separadas las cajas pequeñas en la primera estación, se procede a su paletizado en la tercera estación. De igual manera que con la segunda estación, para la paletización llegan los palés y las cajas por dos cintas distintas. En la estación se gestiona el funcionamiento de una máquina personalizada de paletizado, tanto su funcionamiento interno como su alimentación de cajas y palés.

### 2.3.1 Operaciones ejecutadas

La operación principal de la estación es la formación correcta del mosaico de cajas sobre el palé. El mosaico de cajas pequeñas consta de 4 alturas con forma cuadrada, cada una de ellas formada por 2 filas de 3 cajas. Para una mejor estabilidad en el apilado se intercalan distintas orientaciones de las cajas según la altura. Por tanto, las cajas se podrán girar para obtener las dos orientaciones distintas.

En cuanto a la alimentación de cajas se podrán acumular hasta 2 cajas en los tiempos muertos donde no se puedan introducir dentro de la superficie donde se forma un nivel del mosaico.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Esto puede suceder en la espera a la entrada o salida de un palé de la máquina. También ocurre cuando un empujador posiciona una fila de cajas en la superficie de preparación del palé. Cuando un nivel está preparado en esta superficie una compuerta se abre para dejar que las cajas reposen sobre el propio palé o las cajas del nivel inferior. Solamente el palé se mueve verticalmente, levantándose desde la cinta de alimentación de palés hasta la adecuada según el nivel de cajas presente en el palé.

El desplazamiento vertical del palé es la parte más delicada de la estación. Para mitigar posibles fallos en esta operación se sitúan sensores de proximidad que detecten si el palé está centrado en el ascensor.

### 2.3.2 Funcionalidades de la estación

En la máquina de paletizado de cajas pequeñas se ha decidido no incluir una función de parada con almacenamiento de información. Esto viene motivado debido al alto grado de automatización de la máquina, la cual no se detendrá salvo una emergencia. La estación solamente se detiene pulsando la seta de emergencia, pudiendo dejar de alimentar la máquina con palés para realizar una parada controlada tras acabar un palé. La parada está pensada para que se detenga cualquier movimiento de la estación, especialmente el de subida o bajada del palé. Esto es fundamental en caso de una parada motivada por una anomalía, permitiendo evitar aplastamientos o roturas de la máquina, otros equipos y productos.

Como consecuencia de la altura de la máquina para paletizar, se incorpora una plataforma que permita el acceso a la parte elevada donde se preparan los mosaicos de cajas. Esta plataforma es de carácter fijo y no temporal para agilizar las posibles reparaciones de la máquina en caso de atascos u otro tipo de problemas en los actuadores situados alto.

### 2.3.3 Layout de la estación

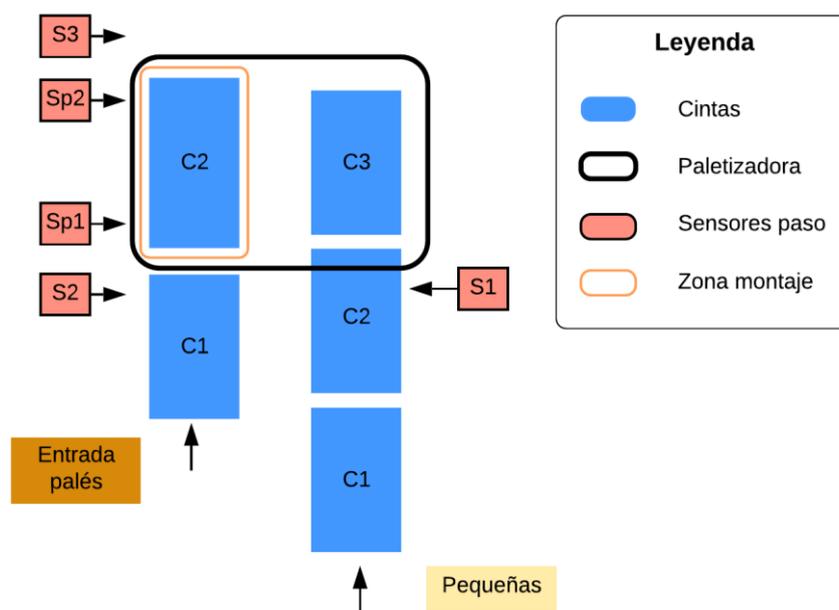


Figura 9: Layout de la estación 3

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 2.4 ESTACIÓN 4: Almacenamiento palés cajas pequeñas

La última estación del proyecto recibe los palés con cajas pequeñas para su almacenamiento automático. Es desde esta estación desde la que se suministran los palés de cajas pequeñas al muelle de carga donde salen de las instalaciones. El almacén consiste en dos estanterías de 6 alturas y 9 palés por fila a los que se accede mediante un transelevador automático.

### 2.4.1 Operaciones ejecutadas

Empleando una línea de cintas recta se intercala en mitad un almacenamiento automático de palés. Con él se podrán almacenar los palés con cajas pequeñas o dejarlas pasar por la cinta en caso de que exista demanda a la salida de la línea proyectada. Por tanto, la estación deberá ser capaz de recibir los palés, almacenarlos en caso necesario y depositarlo en la cinta de salida bajo demanda del proceso.

Para almacenar los palés el sistema los cogerá de la cinta, los llevará a la siguiente posición de la estantería libre y los depositará delicadamente. Es importante que en todos estos movimientos no se produzcan bruscamemente para evitar el deslizamiento de las cajas.

La salida de palés puede realizarse extrayéndolos de las estanterías de almacenaje o dejándolos pasar desde la cinta de entrada en caso de que un palé se detecte. Esto provoca una optimización del tiempo debido a que extraer palés del almacén es siempre más lento que simplemente transferirlos desde la entrada del almacén automático a la salida.

Por último, cabe destacar la acumulación de hasta 4 palés al principio de la estación, antes del acceso al almacén automático. Gracias a ello el almacén automático sería capaz de absorber 4 palés más sin saturar el sistema en caso de saturación momentánea del almacén. También sería posible mitigar picos de producción de palés, ya sea por un cambio a palés con menos cajas pequeñas o un pico de producción de cajas pequeñas.

### 2.4.2 Funcionalidades de la estación

El almacén comienza vacío y se le da la orden de arrancar. A partir de este punto por defecto todos los palés que llegan son almacenados en orden. El operario o sistema de gestión tiene la posibilidad de pedir la salida de palés del sistema en bloque. Es decir, se puede ordenar la salida de 10 palés en cuyo caso hasta que no salgan no se almacenará ningún palé nuevo. Estos palés se obtendrán desde el almacén comenzando desde el último en entrar (gestión LIFO). Los palés que lleguen al almacén mientras haya una orden de salida de palés serán traspasados directamente a la salida, teniendo prioridad respecto a los almacenados.

La estación se detendrá en caso de activación de la seta de emergencia. Nuevamente, en caso de emergencia el sistema se detendrá totalmente, sea cual sea su posición. Debido a la gran cantidad de posibles posiciones en las que se puede detener, el sistema el proceso de rearmar deberá garantizar una vuelta segura al punto de inicio del transelevador. Para ello sigue una serie de etapas una vez dada la orden de rearmar. Igual que el pórtico, la zona estará vallada para evitar accidentes.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 2.4.3 Layout de la estación

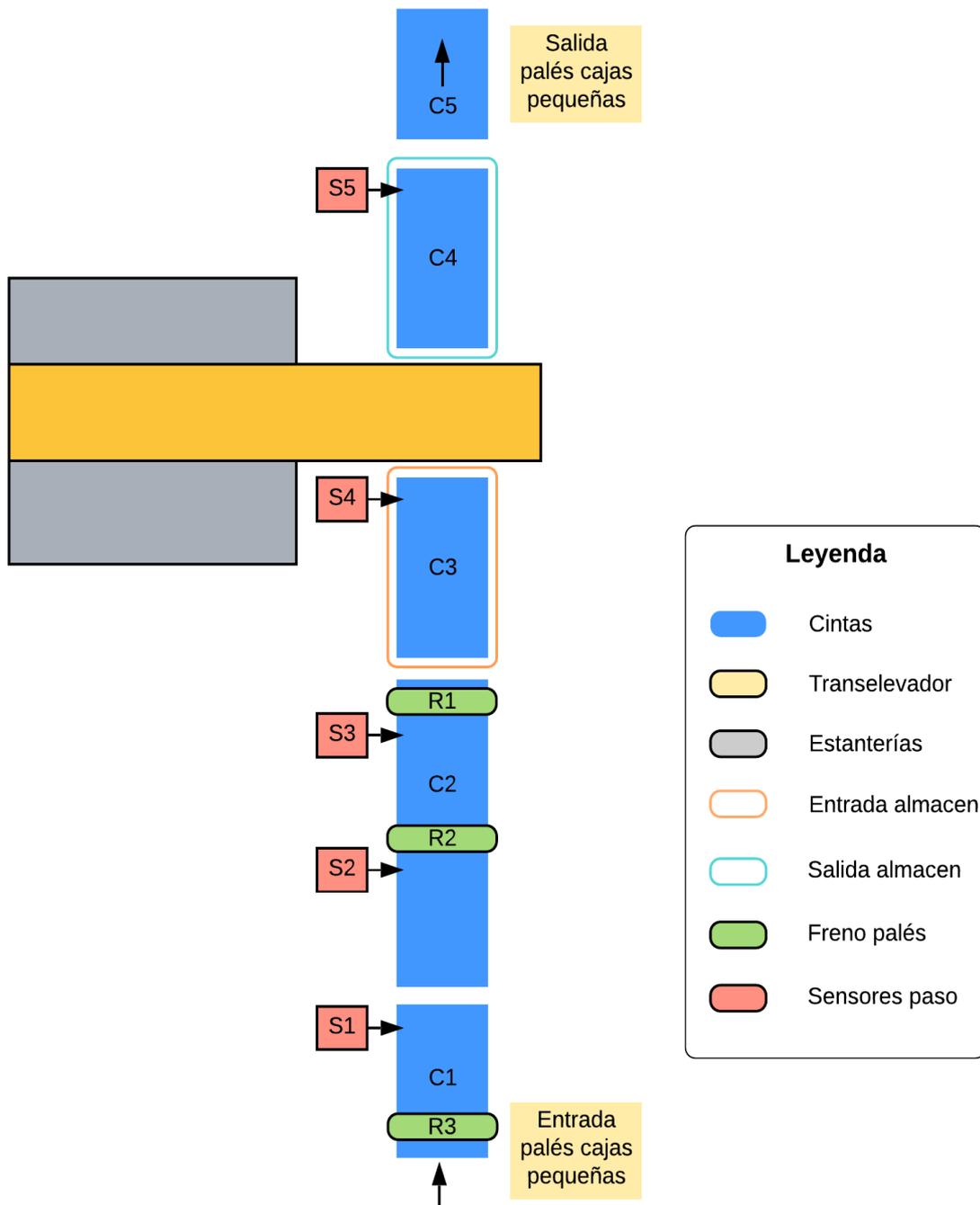


Figura 10: Layout de la estación 4

### 2.5 Selección del equipamiento

A partir del diseño físico de las distintas estaciones que conforman el proyecto se eligen los distintos sensores y actuadores adecuados a las necesidades del proyecto. Se puede diferenciar entre el equipamiento simple, conformado por sensores o actuadores que se adquieren por separado, y la maquinaria compleja o los equipos de control. Estos últimos

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

equipos son adquiridos en conjunto debido a que requieren un trabajo de diseño e implementación elevado el cual se externaliza a las empresas en las que se adquieren, las cuales cuentan con mayor experiencia en este tipo de soluciones.

También se contará con la ayuda de subcontratas a la hora de construir los armarios eléctricos y la construcción de las cintas de transporte: tanto la banda de rodadura y estructura mecánica como el motor y variador de potencia asociados.

### 2.5.1 Sensores

Aunque no midan una propiedad física, dentro de este apartado se cuentan los pulsadores de la interfaz de usuario. Esto es así debido a que captan información del exterior y son gestionados como entradas al igual que el resto de los sensores. Los pulsadores de parada, de emergencia o normal, serán normalmente cerrados al contrario que el resto de los pulsadores.

Dentro de los sensores que detectan el paso de cajas por las cintas se opta por dos variaciones de un modelo de fotocélula retrorreflectiva con protección IP65 y hasta 7 metros de alcance. La diferencia entre estas dos variantes se encuentra en si su salida está activa ante ausencia de cajas (normalmente cerrada) o a la inversa (normalmente abierta).



Figura 11: Fotocélula retrorreflectiva de la gama XU de OsiSense [10]

Para poder reflejar la luz este tipo de fotocélulas necesitan la instalación de un espejo reflector catadióptrico. Se ha escogido un modelo de 77 milímetros de diámetro reflector para tener cierto margen en caso de que la fotocélula no esté del todo alineada o se desvíe debido a vibraciones.



Figura 12: Espejo reflector catadióptrico para las fotocélulas [11]

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Con el objetivo de identificar las cajas grandes debido a su mayor altura respecto a las medianas se opta por un sensor fotoeléctrico de tipo array discreto. Este tipo de sensor permite una medición rápida independientemente de la orientación, material o posición en la que se encuentre la caja dentro de la cinta. En concreto, el sensor es de la marca Allen-Bradley de la serie 45DLA (modelo 1L3B6T-F4) y cuenta con una resolución de 3 centímetros adecuada para la aplicación en cuestión. Este sensor puede medir como máximo 560mm, siendo suficiente para abarcar la totalidad de la altura de las cajas más grandes.



Figura 13: Sensor de altura fotoeléctrico con array discreto de Allen Bradley [12]

Por último, para la medición del peso de las cajas en movimiento se opta por una báscula integrada en una cinta transportadora. Con unas medidas de 1000 milímetros de largo y 650 de ancho es posible integrarla junto con el resto de las cintas transportadoras. El rango máximo de pesaje es de 15 kilogramos y cuenta con una resolución de 5 gramos. El modelo pertenece a la grama DLW10 de la marca PCE Ibérica.



Figura 14: Báscula con cinta transportadora integrada [13]

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 2.5.2 Actuadores simples

La gran mayoría de actuadores simples del proyecto son las cintas transportadoras de las cajas o las cintas de rodillos que transportan los palés. Ambas se activarán o desactivarán con una señal simple desde el PLC. El arranque y otras configuraciones se realizarán dentro del propio variador y no podrán ser modificadas por comunicaciones desde el PLC. Esto es posible ya que la velocidad de las cintas es constante en todo momento.

Las cintas transportadoras de cajas serán de unos 90 centímetros de anchura y que usen como material de la banda PVC. Las cintas de rodillos metálicos serán más anchas, de 110 centímetros, debido a la mayor anchura de los palés. Se escogen rodillos debido al mayor peso de los palés y a que las vibraciones en tránsito sobre palés son menores que si las cajas van sobre los rodillos. Evitar las vibraciones lo máximo posible en el transporte de las cajas es una de las razones por las que se ha optado por bandas de PVC para las mismas, junto con un precio menor.



Figura 15: Ejemplo de cinta transportadora con banda de PVC de la marca JiaBao [14]

A la misma empresa que construya e instale las cintas se le encargarán los dos brazos pivotantes con cinta incorporada para la transferencia de cajas entre cintas. Así mismo, se instalarán los paradores de los palés en las cintas de rodillos.



Figura 16: Ejemplo de parador de palés en cintas de rodillos [15]

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 2.5.3 Actuadores complejos o maquinaria

En la estación 2 para la paletización de las cajas medianas se emplea un pórtico de 3 ejes y ninguna rotación. La carga máxima del pórtico es de 15 kilogramos como mínimo y con un rango de acción de un cuadrado de 2 metros de lado.



Figura 17: Paletizadora de ejes cartesianos de la marca YM [16]

Debido al menor tamaño y peso de las cajas pequeñas, para su paletización en la estación 3 es más eficiente y barato optar por una máquina más personalizada. Usando actuadores más simples, como empujadores o un ascensor para el palé, se puedan ir acumulando los distintos pisos de cajas pequeñas.

En la última estación se instala un carro transelevador capaz de levantar el peso de las 24 cajas (de unos 3 kilogramos) y el propio palé. Para ir por el lado de la seguridad se opta por uno con capacidad de carga de 100 kilogramos en caso de que se introduzcan más alturas en los palés en un futuro. También se deben instalar las estanterías (una en cada lado) compatibles con el posicionamiento automático de los palés con 54 espacios para almacenamiento.



Figura 18: Ejemplo de carro transelevador de la marca Mecalux [17]

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

#### 2.5.4 Control automatizado

Todos los sensores y actuadores es imprescindible conectarlos al controlador central, el cual será un PLC de la gama más avanzada de Phoenix Contact denominada PLCnext Control. El modelo AXC F 1152 siendo el más básico es suficientemente potente para la aplicación planteada en un principio. En caso de que se quisiera fusionar el control de varias líneas de producción podría ser necesario optar por un PLC de mayores prestaciones, pero no es el caso de este proyecto.



Figura 19: Controlador AXC F 1152 de Phoenix Contact [6]

Directamente al PLC irán solamente conectados los acopladores de bus o centrales de entradas y salidas distribuidas de cada estación, lo que hacen un total de 4. Esta máxima modularidad permite que todas las estaciones y el controlador central puedan ser reparados simplemente desconectando un par de cables PROFINET. También permite ampliaciones futuras con la misma comodidad. El producto escogido, también de Phoenix Contact, es el IL PN BK D18 DO4 2TX-PAC. Cuenta con 8 entradas digitales y 4 salidas digitales incorporadas a parte de los 2 conectores PROFINET.



Figura 20: Módulo de entradas y salidas distribuidas de Phoenix Contact empleado en el proyecto [6]

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Con las entradas y salidas integradas inicialmente es necesario el acoplamiento de diversos módulos de ampliación para el correcto funcionamiento de cada estación. Estos módulos tienen la conexión Inline propia de Phoenix Contact y que es compatible con el acoplador de bus seleccionado.

- En la primera estación hay 2 sensores analógicos (báscula y sensor de altura) y otros 9 sensores que necesitan entradas digitales. Se añaden por tanto un módulo con 2 entradas digitales adicionales (IB IL 24 DI 2-PAC) y otro con 2 entradas analógicas (IB IL AI 2/SF-PAC). En cuanto a salidas son necesarias 13 digitales, por lo que se añaden 9 con módulos: un módulo de 8 (IB IL 24 DO 8-PAC) y otro de 2 (IB IL 24 DO 2-PAC).
- En la segunda estación faltan 2 entradas digitales (hay 10 en total), las cuales se añaden con el módulo correspondiente. Esta vez hacen falta 3 entradas analógicas para los sensores del pórtico por lo que en vez de usar un módulo de 2 como el de la primera estación se usa uno de 4 (IB IL AI 4/U-PAC). En cuanto a las salidas, el pórtico cuenta con 3 salidas analógicas por lo que se añaden 4 con un módulo (IB IL AI 4/U-PAC). Para las 10 salidas digitales que falta por cubrir de las 14 (incluyendo 4 reservas para el pórtico complejo) planeadas se añaden un módulo de 2 y otro de 8.
- La tercera estación cuenta exclusivamente con entradas y salidas digitales. De las 12 entradas falta añadir 4 (IB IL 24 DI 4-PAC). En cuanto a las salidas hay 17, por lo que se añaden 16 con un único módulo, usando 4 para reservas (IB IL 24 DO 16-PAC/SN).
- En la última estación se emplean 14 entradas digitales, las cuales se cubren con un módulo de 2 y otro de 4. Para las 19 salidas digitales se emplea nuevamente un módulo de 16, en el cual queda un hueco libre.



Figura 21: Módulo de 16 salidas digitales de la gama Inline de Phoenix Contact [6]

Para la interconexión de todos estos equipos del sistema de control y los visualizadores de variables numéricas en los armarios se emplea cable PROFINET. Con la finalidad de abaratar los costes, los distintos cables se forman a partir de un rollo de cable en el que se corta la medida justa y posteriormente se criman los extremos. Estos sistemas se ubicarán dentro de 4 armarios eléctricos donde estarán las interfaces de usuario físicas.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 2.5.5 Cantidad de equipamiento necesario

En la Tabla 1 se encuentran un resumen con todo el equipamiento necesario para toda la línea proyectada, incluyendo las cantidades.

Tabla 1: Equipamiento usado en la construcción de la línea de clasificación proyectada

Descripción	Cantidad
Sensor fotoeléctrico Normalmente Abierto (Referencia: XUK1APANM12)	3
Sensor fotoeléctrico Normalmente Cerrado (Referencia: XUK1APBNM12)	13
Espejo reflector catadióptrico de BeMatik (Referencia: TZ094)	16
Sensor altura array discreto Allen-Bradley 45DLA (Referencia: 1L3B6T-F4)	1
Cinta con báscula integrada de la gama DLW10 (Referencia: DLW10/6510R2)	1
Cinta transportadora de cajas con banda PVC	8
Cinta transportadora para palés con rodillos	7
Brazos pivotantes con cinta incorporada	2
Paradores de palés en cintas de rollos	3
Pórtico paletizador de 3 ejes	1
Máquina paletizadora de cajas pequeñas	1
Carro transelevador con estanterías	1
Controlador PLC AXC F 1152 (Referencia: 1151412)	1
Acoplador PROFINET de entradas y salidas distribuidas (Referencia: 2703994)	4
Módulo de 2 entradas digitales Inline IB IL 24 DI 2-PAC (Referencia: 2861221)	2
Módulo de 4 entradas digitales Inline IB IL 24 DI 4-PAC (Referencia: 2861234)	1
Módulo de 2 entradas analógicas Inline IB IL AI 2/SF-PAC (Referencia: 2861302)	1
Módulo de 4 entradas analógicas Inline IB IL AI 4/U-PAC (Referencia: 2700459)	1
Módulo de 2 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 2-PAC (Referencia: 2861470)	2
Módulo de 8 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 8-PAC (Referencia: 2861289)	2
Módulo de 16 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 16-PAC (Referencia: 2862961)	1
Módulo de 4 salidas analógicas Inline IL AO 4/U/0-10-ECO (Referencia: 2702498)	1
Armarios eléctricos junto con sus controles para el operario	4
Rollo de cable PROFINET	1
Pack de conectores para cable PROFINET	1

## **CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL AUTOMATISMO**

En esta sección se explica la automatización de la línea de producción diseñada en la sección anterior. Para automatizar un proceso productivo se definen las actuaciones de los elementos en función de ciertas condiciones que se vayan dando en el sistema. Se podría decir que mientras el diseño de los mecanismos es la parte estructural del proyecto, en esta parte se va a tratar el procesamiento de la información para generar la respuesta adecuada que permita a la línea cumplir sus objetivos.

La base de la programación para las estaciones se realizará en la generación de la máquina de estados mediante gráfico (SFC) siguiendo la metodología GEMMA (Guía de Estudio de Modos de Marchas y Paradas). Todas las estaciones estarán programadas de forma independiente, pero compartirán una estructura base similar en la que hay 4 estados:

- Estado inicial (A1): El sistema está parado y listo para arrancar.
- Producción normal (F1): El sistema está en funcionamiento.
- Parada de emergencia (D1): Debido a una emergencia el sistema se encuentra detenido.
- Preparación para la recuperación tras fallo (A5): Tras un paro por emergencia, se ha eliminado la causa de la alarma y se realizan las acciones necesarias para volver al estado inicial. Para salir de la parada de emergencia, y por tanto volver a arrancar el sistema, es necesario pasar por este estado.

Junto con la lógica de cada una de las estaciones también se planteará una interfaz de usuario que permita a los operadores entender y controlar el estado del sistema.

### **3.1 ESTACIÓN 1**

#### **3.1.1 Lógica de la estación**

Durante el funcionamiento de la primera estación se procesan 3 zonas:

- La entrada de cajas en la báscula para la medición del peso, en la cual se incluyen las dos primeras cintas y fotocélulas.
- Desviación de cajas medianas y grandes a la otra cinta transportadora, en la que se encuentran los sensores 3, 4 y 5 junto con la tercera cinta y el primer brazo desviador.
- Desviación de las cajas grandes con el segundo brazo desviador y la cuarta cinta.

Las fotocélulas de la primera estación tienen como objetivo general la acumulación de cajas mientras se van procesando individualmente las cajas en la estación. Esto es especialmente crítico en la báscula, por lo que la primera fotocélula solo dejará pasar una caja cuando no haya otra caja en la báscula. Para pasar a la segunda zona y que la caja salga de la báscula no

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

debe haber otra caja en tránsito por la zona del primer brazo clasificador. Esto lo comprueban las fotocélulas 4 o 5, activados según el tipo de caja que salga de la segunda zona. En la báscula se introducirá una nueva caja cuando la tercera fotocélula garantice que la superficie de la báscula está totalmente libre. Es decir, puede haber una caja esperando en la báscula y otra caja esperando antes de la báscula a que la caja ya clasificada salga de la segunda zona completamente.

Aparte de esta funcionalidad, hay 2 fotocélulas con funciones específicas. La segunda fotocélula, al garantizar que la caja de la báscula no se apoya en la cinta anterior y se encuentra totalmente en la báscula, activará el pesado. La acción de pesado durará aproximadamente medio segundo, durante la cual no se moverá la cinta para garantizar la medición más exacta posible. La tercera fotocélula es la que activa el movimiento del primer brazo clasificador al entrar en contacto con una caja.

En la tercera zona se usa el propio sensor de altura como detección para el segundo brazo desviador. Esto es posible gracias a que el espacio entre cajas ha sido garantizado en la estación anterior, por lo que no será necesario una acumulación en esta zona. La activación del segundo brazo desviador en caso de llegar una caja grande se hará con un temporizador que garantice su desviación completa, el cual es activado por el sensor de altura.

Durante la acción de parada contemplada en esta estación se garantizará que si hay una caja en la báscula que no ha sido pesada se realizarán todas las operaciones necesarias para ello. Tampoco se detendrá la estación hasta que, si una caja se encuentra en la zona del primer brazo desviador, termine de salir por las fotocélulas 4 o 5.

Los brazos desviadores permanecerán en su posición incluso tras una parada no de emergencia hasta que llegue una caja que requiera el cambio de posición. Esto minimiza el movimiento de los brazos y mejora su vida útil.

Durante la parada de emergencia se detendrá de la forma más rápida posible la estación, ya sea cuando está en funcionamiento normal o en mitad de una parada planificada. Para la reanudación es necesario quitar todas las cajas que se encuentren en tránsito por la estación ya que se borrará cualquier dato del controlador sobre el estado de la estación durante el rearme. El rearme solo sucederá una vez la seta de emergencia haya sido reposicionada tras corregir el problema. Los brazos se quedarán detenido en la posición en caso de emergencia y solamente volverán a la posición de reposo tras el rearme para evitar movimientos durante la emergencia.

### 3.1.2 Interfaz de usuario

Para el control de la estación son necesarios 3 pulsadores a parte de la seta de emergencia:

- Botón verde de arranque, el cual permitirá arrancar la estación partiendo del estado de reposo.
- Botón rojo de parada, con el que se para la estación de forma controlada estando en funcionamiento.
- Botón amarillo de rearme, el cual si no hay emergencias activas en la estación la devuelve a la posición de reposo.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Al usuario se le informará del estado del sistema mediante una serie de indicadores luminosos situados sobre los pulsadores o independientemente:

- Piloto azul para indicar que se encuentra en reposo.
- Piloto verde sobre el pulsador de arranque para indicar que está en funcionamiento.
- Piloto rojo sobre el pulsador de parada durante el proceso de parada hasta llegar a la situación de reposo.
- Piloto amarillo sobre el pulsador de rearme para indicar que se cumplen las condiciones con las que es posible volver a la situación de reposo rearmando.
- Indicador luminoso de alarma giratorio que indica que la seta de emergencia está activa y por tanto no puede funcionar la estación.

En la siguiente figura se puede observar una propuesta de disposición de estos pulsadores dentro del armario eléctrico de la primera estación.



Figura 22: Interfaz de usuario de la estación 1

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 3.2 ESTACIÓN 2

### 3.2.1 Lógica de la estación

Para la ejecución de la estación 2 se diferencia entre la gestión de la entrada de cajas y su acumulo respecto de la gestión del pódrico paletizador. Las fotocélulas 2 y 3 junto con las cintas 3 y 4 se encargan de mantener una caja acumulada a parte de la caja que espera en la posición de recepción del pódrico. La cinta 4 permanece parada hasta que entra una caja en la estación por la cinta 3. Entonces se activa para posicionarla en su extremo, donde se sitúa la fotocélula 2. Hasta que no se vaya esta caja no podrá entrar una nueva caja en la cinta 4, deteniéndose la cinta anterior cuando llegue una nueva caja desde la primera estación.

La parte que gestiona el pódrico se encarga en primer lugar de alimentarlo con palés. Debido al suministro continuo de palés no es necesaria su acumulación con varias cintas y fotocélulas. Solamente se retendrá un palé vacío hasta que se llene, momento en el cual se liberará y se esperará al siguiente. En este tiempo el pódrico esperará hasta confirmar que hay un palé vacío en la fotocélula 1 que llegue por la primera cinta donde descargar la siguiente caja.

En segundo lugar, gestiona los movimientos del robot a las 6 posiciones a las que tiene que llevar cajas en cada palé. El movimiento parte desde una posición denominada prepick, situada encima del punto de recepción de las cajas en la cuarta cinta. Cuando llega una caja el pódrico desciende a la posición pick y se detiene en ella. El pódrico cuenta con un sensor para comprobar si el acercamiento a la caja es capaz de proporcionar un buen agarre. En caso contrario se repetirá el acercamiento desde la posición de prepick acoplar nuevamente la caja con el extremo absorbente del pódrico. Si este fallo sucede varias veces será posible realizar una parada de la estación para arreglar el problema y reanudarla sin perder los datos del palé en curso.

Después el pódrico pasa por una posición intermedia llamada preplace 1, más cerca al palé que la posición prepick. Es a partir de esta posición donde según qué posición ocupe la caja en el palé pasará a coordenadas distintas. Según si es una caja impar o par la posición de la caja en el palé, preplace 1 estará delante de una de las dos columnas que conforman el palé. La siguiente posición, llamada preplace 2, será la que se posicione en la parte más alta de las columnas previamente mencionadas. Este acercamiento en dos etapas evita golpear las cajas de la otra columna ya que el acercamiento se realiza en paralelo.

Finalmente, el pódrico llega a la posición de dejada, donde suelta la caja al quitar la absorción. Para recoger la siguiente caja tendrá que repetir los movimientos inversamente hasta llegar a la posición de prepick o espera. Para evitar movimientos bruscos se detiene la caja momentáneamente en cada uno de ellos de forma suave, comprobando que el pódrico no está en movimiento con sus sensores integrados.

Debido a la peligrosidad del pódrico en caso de parada de emergencia se anulará la orden de desplazamiento activa en caso de que se encuentre en movimiento, deteniéndose inmediatamente. El proceso de rearme consta de varios pasos para garantizar que se han retirado todas las cajas y el palé de forma manual y segura antes del rearme completo. En la primera etapa del rearme se libera la caja que pudiera estar cogiendo el pódrico en el momento de la emergencia. Esta etapa de rearme dura como mínimo 6 segundos para que le dé tiempo al operario a llevarse la caja y salir del rango del robot, aprovechando esta etapa

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

para reiniciar algunos datos del pórtico del ciclo de palé en el que estaba. Una vez pasado el tiempo ya se podrá, dando de nuevo al pulsador de rearme, llevar el pórtico a la posición inicial o de mantenimiento. En caso de que la seta vuelva a ser pulsada en la primera etapa de rearme no se podrá avanzar a la última etapa.

Toda la estación puede ser detenida sin activar el protocolo de emergencia en caso de que se haya producido algún atasco o caída de cajas que requiera el acceso de un operario cerca del pórtico. Esta parada no borra los datos del palé en curso a diferencia de la parada de emergencia, por lo que puede haber situaciones en las que sea más práctica y no sea necesaria una parada. También cabe destacar que no detiene el pórtico inmediatamente, sino que espera a la finalización de la caja que esté en curso de forma similar a como sucedía en la primera estación.

### 3.2.2 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es similar a la de la primera estación en cuanto a que posee los mismos 5 indicadores luminosos, 3 pulsadores y seta de emergencia para controlar la estación y saber en qué estado se encuentra. Adicionalmente se incluyen 4 pantallas en las que se puede visualizar el número de cajas presente en el palé en curso. Las otras 3 pantallas incluyen las coordenadas de la posición del extremo del pórtico, correspondientes a los 3 ejes del pórtico en tiempo real.



Figura 23: Interfaz de usuario de la estación 2

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 3.3 ESTACIÓN 3

#### 3.3.1 Lógica de la estación

La programación de toda la estación se ha organizado en 3 grandes bloques: la entrada y salida de palés, la colocación de los mosaicos de cajas en el palé y la preparación de un piso del palé. Esta organización sigue una jerarquía clara donde para la salida del palé se tendrá que esperar a que se prepare completamente. Para la preparación del palé será necesario componer los distintos pisos que conforman un palé antes de introducirlos uno a uno en el palé. Esta descomposición del funcionamiento de la estación en bloques más pequeños facilita su comprensión y resolución.

En primer lugar, se va a explicar la introducción y salida de los palés en la máquina. Antes de la máquina está presente la fotocélula 2 que garantiza que solamente un palé será introducido en cada ciclo de la máquina. Si llega un nuevo palé a la fotocélula y todavía no puede entrar a la máquina se acumulará a la entrada, deteniendo la cinta de entrada de palés. No es necesario una mayor acumulación de palés ya que su flujo es constante y el llenado de un palé dura lo suficiente para que se repongan sin problemas. Para pasar al siguiente ciclo se certificará con la tercera fotocélula que el palé efectivamente ha salido de la máquina. Una vez dentro el palé antes de ascenderlo a su posición de paletizado se comprueba que está centrado. Esto se logra gracias a 2 sensores situados dentro del ascensor que garantizan que el palé no está demasiado adelantado o retrasado. El palé descenderá al nivel más bajo y saldrá una vez se hayan completado todos los pisos de cajas del palé.

El segundo lugar se encuentra la colocación de las cajas en el palé. Una vez se haya confirmado que hay un piso de cajas listo encima de la plataforma de preparación se juntan todas las cajas con unos empujadores para centrarlas. Con este proceso se considera que el piso está listo para depositarlo en el palé y se para la preparación del siguiente piso hasta que se haya completado. Ahora se comprueba si hay un palé listo para la colocación de las bandejas. Gracias a esto es posible ir preparando el primer piso de bandejas antes de que el palé esté posicionado. Tras la confirmación de que el palé está listo se abre la plataforma y se dejan caer unos milímetros sobre el palé o anterior piso de cajas, debido a que se encuentra justo debajo de la plataforma sin apenas altura de diferencia. Cuando la plataforma está totalmente abierta, confirmándolo con el sensor, el palé desciende un nivel para colocar la parte superior del nuevo piso de bandejas a la altura correcta. Tras alcanzar esta nueva altura se cierra la plataforma y se cierran los pistones juntadores para dar paso a un nuevo piso.

En tercer lugar, se forman los pisos de bandejas encima de la plataforma. En total son 4, siendo los impares con el lado largo de las cajas en dirección del lado corto del palé y los pares al contrario. En ambos casos se van formando filas de cajas que son desplazadas con un empujador hasta la plataforma cada vez que son completadas. Estas filas serán de 2 cajas en caso de los pisos pares y de 3 en los impares, haciendo falta 3 filas para los pares y 2 para los impares por piso. Una vez se ha completado la plataforma se espera a que se complete su posicionamiento en el palé antes de comenzar la preparación de la siguiente fila. La fotocélula 1 contará las cajas introducidas en la máquina y gestionará el acumulo de cajas a la entrada de la máquina. Esta acumulación se realiza en los dos extremos de la banda 2 de la estación, ya que la banda 1 no se detiene y en caso de llegar una bandeja estando la 2 ya detenida por acumulo. Si llegase una nueva caja con el principio de la cinta 2 ya ocupado podría producirse

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

un problema de detección en la fotocélula de entrada, pero se ha considerado que el sistema es suficientemente rápido para evitar este caso.

Esta estación no cuenta con parada programada debido a la necesidad de preparar tanto las filas como los pisos de forma completa antes de su paletización. Por tanto, solamente se podrá detener con un parado de emergencia, el cual se puede hacer después de acabar un palé y sin introducir ni cajas ni palés nuevos para que sirva como apagado de la estación.

Una parada de emergencia detiene completamente la estación, incluido el ascensor en caso de que esté en movimiento. Debido a que esta es la parte móvil más grande y delicada, el rearme de la estación está dividido en 2 etapas para tenerlo en cuenta. En la primera etapa del rearme el ascensor desciende hasta el nivel bajo para quitar todo tanto el palé como las cajas que ya hayan sido paletizadas. Una vez toda la estación esté libre el último paso de rearme ya la devuelve al estado de reposo.

### 3.3.2 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es similar a la de las dos estaciones anteriores, salvo por el hecho de que no cuenta con pulsador ni piloto de parada. Es decir, en cuanto a pulsadores cuenta con la seta de emergencia, pulsador de arranque, pulsador de rearme. La información de la interfaz se muestra con piloto de reposo azul, funcionamiento verde, rearme amarillo y el indicador luminoso de emergencia. En esta ocasión el indicador luminoso de emergencia no se coloca encima del armario sino encima de la máquina, para que pueda ser observada con mayor facilidad desde todos los lados de la máquina o en la plataforma de mantenimiento superior. Como suplemento, la interfaz cuenta con una pantalla que muestra el número de cajas cargadas actualmente en el palé en formación.



Figura 24: Interfaz de usuario de la estación 3, salvo el indicador luminoso de emergencia

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 3.4 ESTACIÓN 4

### 3.4.1 Lógica de la estación

En la entrada a la estación cabe destacar la presencia de espacio para acumular hasta 4 palés cargados con cajas pequeñas. Para ello se emplean una serie de fotocélulas y paradores de palés en mitad de la cinta de rodillos. Además, se incluye un parador al final del ascensor de la estación 3 para que en caso de que la acumulación de la estación 4 esté llena detenga la estación 3. Solamente se acumularán palés en casos donde haga falta retirar algún palé o caja que se haya caído durante el almacenamiento en las estanterías. Los 4 palés de margen se han considerado suficientes para suplir el tiempo que pueda estar parado el almacenamiento en caso de una avería no muy grave.

El almacén automático tendrá 3 modos de funcionamiento diferenciados: introducción de palés en el almacén, extracción de palés del almacén y transferencia de palés desde la cinta de entrada a la de salida. La prioridad del almacén será satisfacer las ordenes de salida de palés lo más rápido posible. Para ello, en caso de haber un palé esperando en la cinta de entrada será este el que se transporte a la cinta de salida puesto que su tiempo de procesamiento es menor que el de un palé que ya esté almacenado. Las ordenes de extracción se dan sumando a un valor de palés solicitados con un pulsador.

Las operaciones del almacenamiento y extracción de palés del almacenamiento serán muy similares. Lo que cambia principalmente es el movimiento del transelevador en la posición inicial según se deja el palé en la salida o cogerlo en la entrada. El carro cuenta con unas palas que salen para situarse debajo del palé, elevarlo e introducirlo dentro del carro. Esta operación se repite tanto para coger como para dejar los palés variando el lado por el que salen las palas.

Durante una parada de emergencia el carro transelevador se detiene totalmente. Una vez arreglado el problema al pulsar rearme comienza un proceso automático para posicionar el carro en el punto inicial de reposo evitando golpes con las palas del carro y las estanterías. Si la emergencia sucede cuando se está almacenando un nuevo palé, este no será sumado al contador interno del almacén. Si el palé ya ha sido almacenado y el carro está volviendo a la posición de inicio el palé habrá sido contabilizado correctamente. De forma inversa pasa en la operación de extracción de un palé. Hasta que no está sobre el carro no se considera necesario su descarte debido al fallo. Como consecuencia, para el rearme solo hay que descartar el palé que está físicamente dentro del carro, tanto si está entrando como si está saliendo del almacén.

Con el rearme se borra la cantidad de palés demandados para la extracción del almacén pero no el número de palés almacenados. Si se desea borrar el número de palés almacenados será necesario forzar la variable del PLC o reiniciarlo.

### 3.4.2 Interfaz de usuario

En esta interfaz se emplean elementos similares a los de las otras interfaces pero esta vez el pulsador y piloto rojo no tienen la función de parada normal. El control por parte del operador de la estación se realiza con estos 3 pulsadores aparte de la seta de emergencia:

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

- Botón verde de arranque, el cual permitirá arrancar la estación partiendo del estado de reposo.
- Botón rojo de extracción, con el que se aumenta en 1 la cantidad de palés solicitados en la salida de la línea.
- Botón amarillo de rearme, el cual si no hay emergencias activas en la estación la devuelve a la posición de reposo y borra la cola de demandas de extracción.

Al usuario se le informará del estado del sistema mediante los siguientes indicadores luminosos situados sobre los pulsadores o independientemente:

- Piloto azul para indicar que se encuentra en reposo.
- Piloto verde sobre el pulsador de arranque para indicar que está en funcionamiento.
- Piloto rojo sobre el pulsador de parada que informa de que existe una cola de palés demandados a la salida y el sistema está extrayéndolos.
- Piloto amarillo sobre el pulsador de rearme para indicar que se cumplen las condiciones con las que es posible volver a la situación de reposo rearmando.
- Indicador luminoso de alarma giratorio que indica que la seta de emergencia está activa y por tanto no puede funcionar la estación.

También se incluyen pantallas para mostrar el número total de palés almacenados y los pendientes por salir del almacén. En la siguiente figura se puede observar una propuesta de disposición de estos pulsadores dentro del armario eléctrico de la cuarta estación.

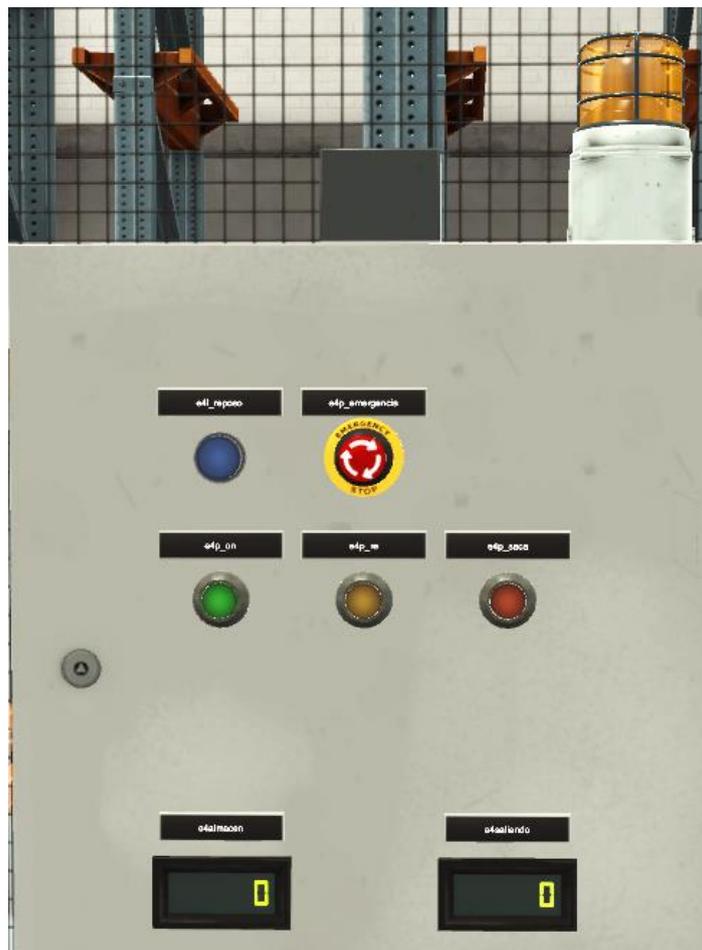


Figura 25: Interfaz de usuario de la estación 4

## CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En el presente capítulo se presentarán los aspectos relacionados con la implementación del sistema diseñado en los dos capítulos anteriores. Si bien la parte de diseño mecánico requiere una construcción previa al montaje, esta no se tratará en este capítulo al ser en parte externalizada. En cambio, este capítulo se centrará en la implementación de la lógica propuesta para la línea productiva, así como ciertas consideraciones importantes durante el montaje, cableado o la infraestructura de red que permitan a la parte automática funcionar correctamente.

### 4.1 Programación

Para la implementación de la lógica en el PLC es necesario trasladarla a un programa que sea compatible con el equipo. El compilador escogido para el proyecto es Codesys, en concreto su versión V3.5 SP16 parche 4. Para organizar el código se ha creado un programa independiente para cada estación, los cuales se ejecutan en una tarea IEC independiente. La base de estos programas está en lenguaje SFC o GRAFCET. Siguiendo la metodología GEMMA el programa posee 4 zonas que representan los estados en los que puede estar el sistema de reposo, arranque, emergencia o rearme [18].

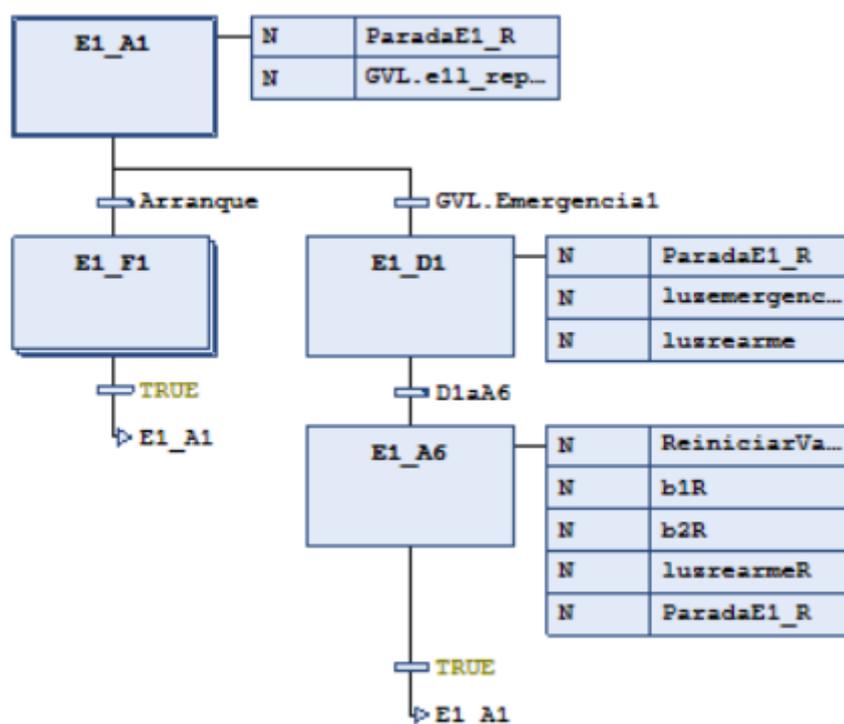


Figura 26: Programa principal en SFC de la estación 1

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

La línea de ejecución del programa se desplaza entre los distintos bloques según se vayan cumpliendo las condiciones de las transiciones y se activan las acciones asociadas a estos bloques. Cuando las acciones o transiciones son sencillas se pueden implementar directamente en el GRAFCET. Sin embargo, otras más complejas es necesario realizarlas en un objeto independiente. Estos objetos están ligados al programa principal de cada estación y en su gran mayoría están en lenguaje Ladder. Solamente se usará el texto estructurado en algunos objetos que sean más cómodos con este lenguaje debido a su complejidad, por ejemplo, ante estructuras de tipo condicional o IF.

```
IF GVL.e3cajas = 2
THEN
    bandfin := 4;
ELSIF GVL.e3cajas = 4
THEN
    bandfin := 6;
ELSIF GVL.e3cajas = 6
THEN
    bandfin := 9;
    bandlista:= TRUE;
    GVL.e3giro:=TRUE;
ELSIF GVL.e3cajas = 9
THEN
    bandfin := 12;
ELSIF GVL.e3cajas = 12
THEN
    bandfin := 14;
    bandlista:= TRUE;
    GVL.e3giro:=FALSE;
ELSIF GVL.e3cajas = 14
THEN
    bandfin := 16;
ELSIF GVL.e3cajas = 16
THEN
    bandfin := 18;
ELSIF GVL.e3cajas = 18
THEN
    Bandfin := 21;
    bandlista:= TRUE;
    GVL.e3giro:=TRUE;
ELSIF GVL.e3cajas = 21
THEN
    bandfin := 24;
ELSIF GVL.e3cajas = 24
THEN
    bandfin := 2;
    bandlista:= TRUE;
    GVL.e3giro:=FALSE;
END_IF;
```

Figura 27: Acción de llenado de palés de la estación 3 programada en texto estructurado (ST)

Las acciones activadas por estos objetos solamente están activas en determinados puntos del código de la estación. En caso de necesitar acciones que se estén comprobando continuamente en todo momento de la ejecución se incluirán en un programa general llamado "Auxiliares", el cual tiene acciones de todas las estaciones y está escrito en programador Ladder o diagrama de contactos.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Las entradas y salidas del sistema, donde están conectados los distintos sensores y actuadores, son tratados por el programa como variables globales. Aunque realmente se podría acceder a ellas desde cualquier programa, cada estación tiene asignadas sus variables globales que solo manipula en su programa o en el Auxiliar común a todas ellas. Estas variables globales se deben incluir en una configuración de símbolos en caso de que se permita su acceso desde un programa externo al Codesys, como por ejemplo un servidor OPC. En caso de que un programa necesite comunicar algún aspecto interno de su ejecución al exterior, como número de cajas en un palé, deberá hacerse a través de una variable global.

Aparte de estas variables globales, en cada uno de los programas de las estaciones se definen una serie de variables internas empleadas durante su ejecución. La gestión de estas variables se realiza dentro del programa, al igual que las variables internas globales. En el inicio del programa se inicializan a su valor de reposo.

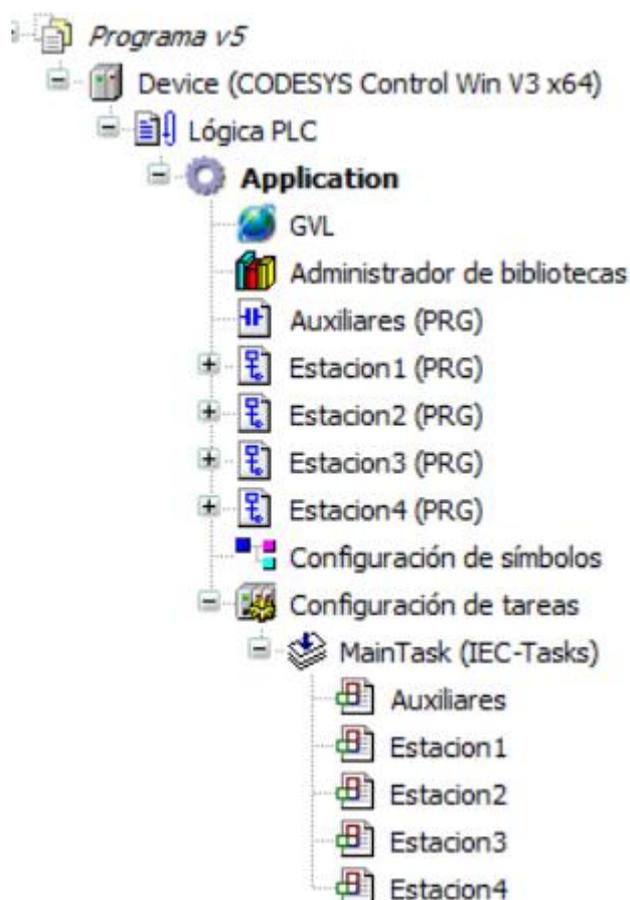


Figura 28: Estructura de la programación del proyecto en Codesys

## 4.2 Montaje

Como consecuencia del enfoque modular de la línea proyectada, su montaje en el emplazamiento final puede ser realizado por partes. Lo recomendable, en caso de no poder instalar todas las estaciones a la vez o querer empezar a utilizar partes de la instalación rápidamente, es comenzar con la instalación por la estación 4 de almacenamiento de palés automáticos. El cribado de las cajas se puede hacer provisionalmente de forma manual.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

mientras que van instalando las estaciones 2 y 3 de paletizado. Empezando desde el final de la línea hasta el principio permite que por la línea salgan ya productos terminados, pudiendo perfeccionar el tratamiento de estos para cuando la línea ya esté completa. Si se empezase desde el principio el montaje no se aprovecharía la velocidad de clasificación ya que el resto de las operaciones no serían automáticas.

Durante el montaje primero se monta la parte mecánica, al ser la más pesada y voluminosa. Posteriormente se instalan los armarios eléctricos y todos los equipos para el control automático. Por último, ya se conectan ambas partes del sistema y se comprueba su buen funcionamiento. Probar cintas y sensores manualmente antes de ejecutar el programa garantiza poder diferenciar los errores en programación de los fallos causados por los equipos instalados.

### **4.3 Cableado**

Todo el cableado de la línea comenzará desde los 4 armarios eléctricos y se irá repartiendo entre los sensores y actuadores. La mayor parte del cableado irá por bandejas de cables que discurren por debajo de las cintas. De esta forma es posible economizar el espacio ocupado por la nueva línea y facilita el mantenimiento y montaje al estar todo lo más cerca y agrupado posible.

Para facilitar el montaje y mantenimiento todos los cables estarán debidamente etiquetados en ambos extremos. Los armarios donde se introducen los cables para conectarlos con los equipos de control protegerán las conexiones y los equipos electrónicos del polvo y suciedad acumulado en la fábrica.

### **4.4 Red**

Entre los distintos armarios será necesario establecer una red PROFINET a la cual esté unido el PLC, el cual puede situarse en el primer armario. Para acceder a esta red y al PLC desde el exterior será necesario conectarlo a un router con acceso al exterior a través de internet o a la propia red de la fábrica. Esta posibilidad de conexión remota permitiría la configuración y comprobación del estado de la línea desde cualquier parte. La manera más cómoda de hacerlo sería a través de un VPN que tuviera la industria con acceso a esta red interna donde esté conectada la línea.

## **CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN**

### **IMPLEMENTADA**

La simulación de la solución planteada a través de la creación de un gemelo digital es fundamental en este proyecto. No solo permite al desarrollador comprobar que los sistemas y programación planteados inicialmente funcionen correctamente, sino que también permite a los clientes de forma visual valorar la solución. De una forma fácil y sin necesidad de probar en grandes instalaciones es posible la corrección de errores y la incorporación de propuestas del cliente antes de la implementación final. Para finalizar el proyecto se elabora un gemelo digital de la totalidad de la instalación para comprobar el rendimiento de la solución y poder asegurar con mayor confianza de cara a la construcción física de la misma. Durante este capítulo se describe el proceso para la creación del gemelo digital, las pruebas realizadas y los resultados que apoyan los desarrollos realizados en el proyecto.

#### **5.1 Elaboración del gemelo digital**

Con el uso del programa Factory I/O es posible realizar una simulación en un entorno 3D realista con simulación de físicas. Cuenta con una gran variedad de actuadores y sensores, así como cajas de 3 tamaños distintos que pueden ser clasificadas por la línea planteada en el proyecto. Si bien es cierto que no deja de ser una simulación y el comportamiento de las cajas en la realidad puede diferir, esta herramienta ofrece la posibilidad de ver cómo afecta en el sistema una parte de la variabilidad presente en el mundo físico. Es importante que el sistema sea estable ante estas pequeñas diferencias entre distintas cajas y situaciones para garantizar una gran robustez con el paso de las horas de funcionamiento. Por ejemplo, las cajas entran en la estación en distinta posición y al llegar a giros o fricción pueden variar su comportamiento, algo que sin este tipo de simulación no se puede observar.

Todos los equipos empleados en la línea se encuentran dentro del catálogo de Factory I/O y pueden simularse dentro del programa. Según la complejidad del elemento tendrá mayor cantidad de sensores y actuadores, pudiendo configurarse distintos tipos de configuraciones según el funcionamiento que se espere del equipo real. Los equipos complejos empleados y su configuración en Factory I/O son los siguientes:

- Paletizadora de cajas medias, modo de funcionamiento “Digital y analógico”.
- Transelevador en modo “Numérico” con 3 bloques de estanterías en cada lado.
- Sensor de altura en modo “Numérico”.

Las medidas y posiciones de los equipos serán aproximadas para la comprobación de la funcionalidad más allá de replicar exactamente toda la geometría. Esta ya se adaptará en función de la nave donde se ejecute el proyecto. Aun así, es conveniente poder situar los

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

equipos en el espacio de la forma más parecida a la realidad, especialmente para contemplar cómo quedan al introducir el vallado u otras estructuras como la plataforma de la paletizadora de cajas pequeñas.

Las interfaces de usuario físicas también se simularán en tiempo real, siendo la forma de controlar las distintas estaciones. Para ello en Factory I/O hay diversos pulsadores, indicadores luminosos y pantallas que irán cambiando dinámicamente y sobre los que con el ratón se podrá interactuar durante la simulación.

Solamente con los equipos del proyecto no se puede simular la línea. Es necesario emplear unos objetos especiales de Factory I/O que generen las cajas, imitando como llegarían a la línea desde el resto de la fábrica. A su vez, los palés que se proveen a la línea también serán creados con este tipo de objeto. También hay que posicionar en las salidas de la línea los objetos contrarios, los cuales borran las cajas y palés que pasan por ellos. Debido al límite de entidades que presenta Factory I/O, se eliminarán las cajas pequeñas paletizadas una vez salen de la tercera estación para evitar saturar la simulación. De otra forma estas cajas al estar almacenadas permanecerían mucho tiempo en la escena simulada sin realizar ninguna aportación a las pruebas al haber acabado las operaciones con ellas. Simplemente con la conservación del palé es suficiente para la evaluación de la gestión del almacén, ya que el comportamiento de las cajas en el palé no se puede simular con profundidad.

La entrada de cajas para la simulación sigue un ritmo de algo más de 4 segundos de media entre cada caja, un valor más agresivo que los 5 planteados en los requisitos para estar en el lado de la seguridad. Para emular el hecho que hay más cajas pequeñas que del resto se dedica un emisor de cajas solamente a este tipo de cajas. El otro emisor genera cajas medianas y grandes de forma aleatoria cada 6 segundos. Al estar posicionado detrás del emisor de cajas pequeñas, evita que genere cajas pequeñas mientras haya una caja mediana o grande en la zona de actuador del otro emisor. El emisor de cajas pequeñas es instantáneo por lo que entre los huecos que deja el primer generador saca las cajas pequeñas de la entrada.

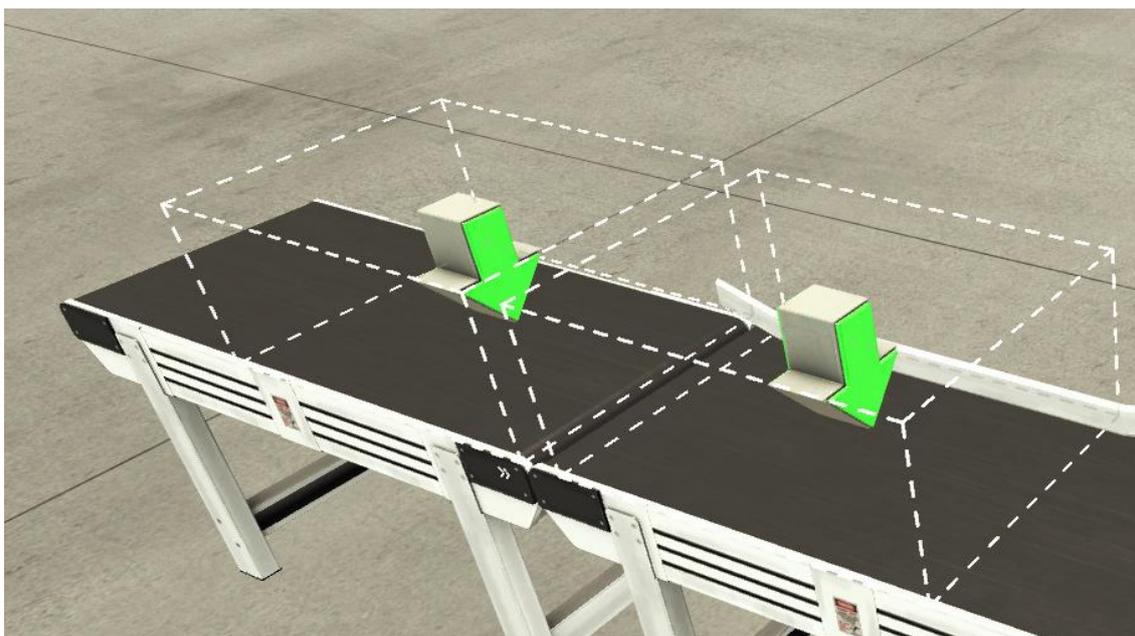


Figura 29: Generación de cajas al inicio de la línea en la simulación de Factory I/O

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

En la siguiente figura se pueden observar los distintos tipos de caja y los mosaicos diseñados para el paletizado:



Figura 30: Cajas paletizadas en el gemelo digital dentro de Factory I/O

El único elemento de la línea proyectada que no permite simular Factory I/O es el PLC junto con toda su lógica programada. Para esta simulación se emplean las propias herramientas de Codesys que incluyen el Control Win Sys Tray, el cual es capaz de simular un PLC ejecutando el código implementado. Si bien no es posible la conexión directa entre este PLC virtual y la simulación, es posible enlazarlos con un servidor OPC que actúe como intermediario.

El servidor OPC se crea y configura con el programa KEPServer EX 6. Para configurarlo hay que añadir las direcciones de las variables globales del PLC simulado con Codesys y asignarles un nombre para crear las distintas etiquetas.

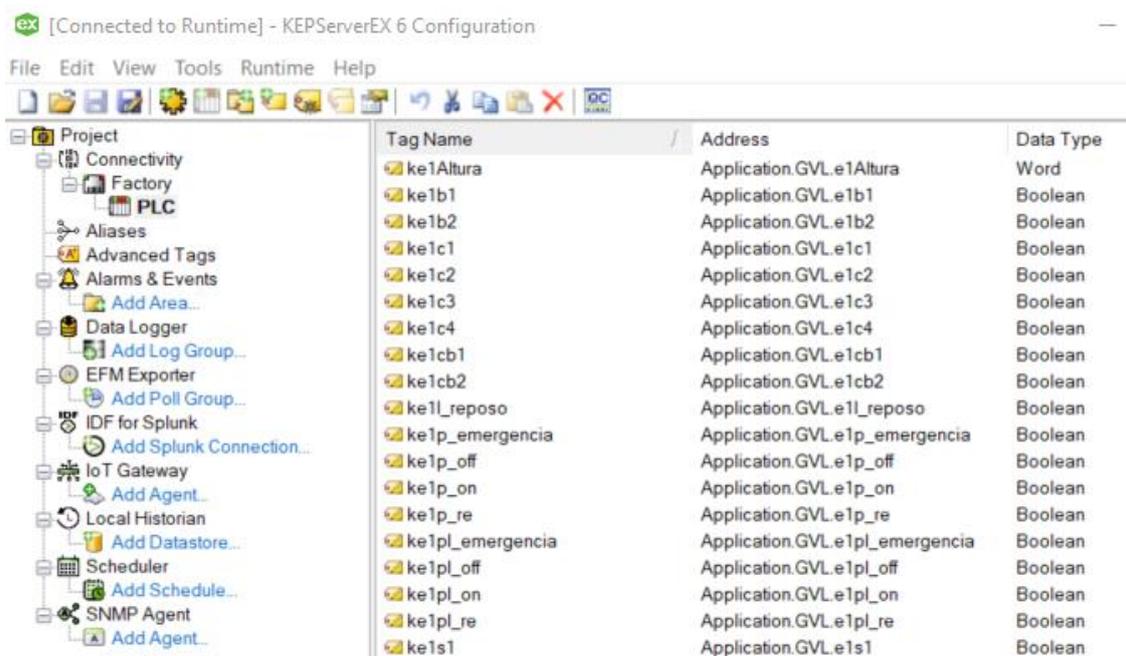


Figura 31: Ejemplo de la configuración de las variables en el servidor OPC con KEPServerEX 6

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

En la versión gratuita de esta herramienta usada para las pruebas del proyecto la duración máxima es de 2 horas seguidas. Este tiempo se considera suficiente para realizar las distintas pruebas, pudiendo reiniciarse la simulación tantas veces sea necesario. La otra limitación con la que cuenta el servidor OPC es que el número máximo de nodos que puede tener para las variables es de 128. Con la totalidad del proyecto se ocupan 113 de estos nodos, por lo que aún existe 15 reservas de margen.



Figura 32: Ejemplos de conexiones de la estación 1 entre el servidor OPC y la simulación de Factory I/O

A continuación, se pueden observar en las figuras la totalidad de los equipos presentes en la construcción de la simulación:

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

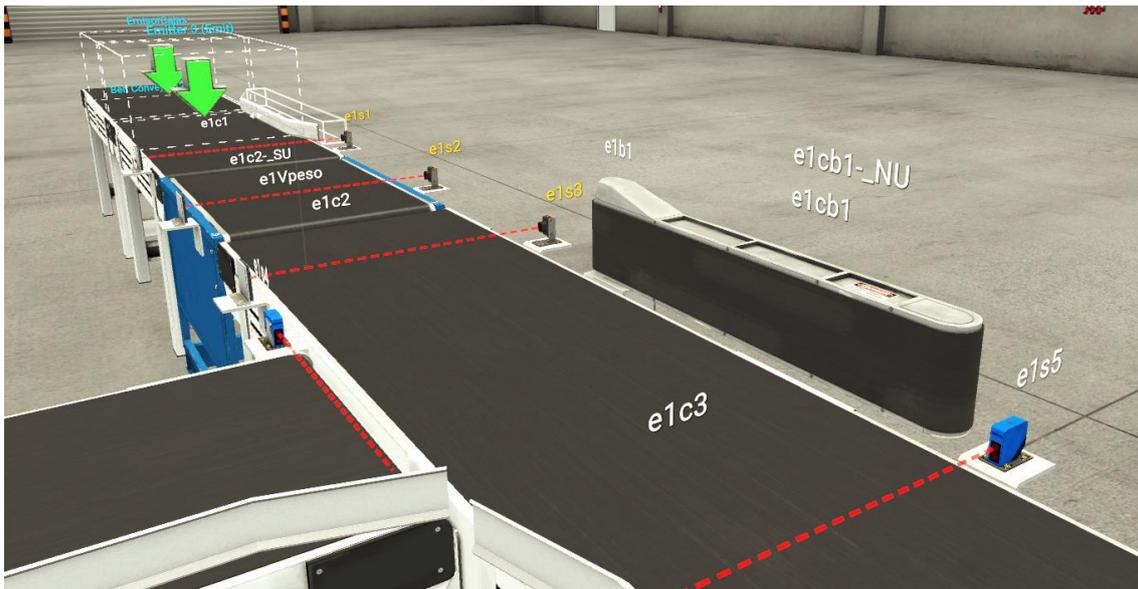


Figura 33: Modelado en Factory I/O del principio de la estación 1

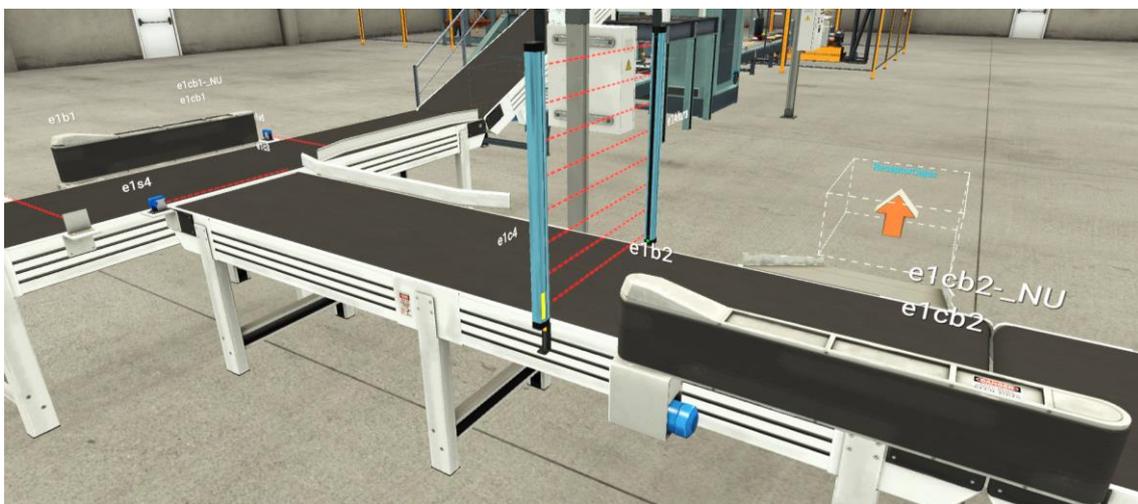


Figura 34: Modelado en Factory I/O del final de la estación 1



Figura 35: Modelado en Factory I/O del cuadro de mandos de la estación 1

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



Figura 36: Modelado en Factory I/O de la estación 2



Figura 37: Modelado en Factory I/O del cuadro de mandos de la estación 2

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

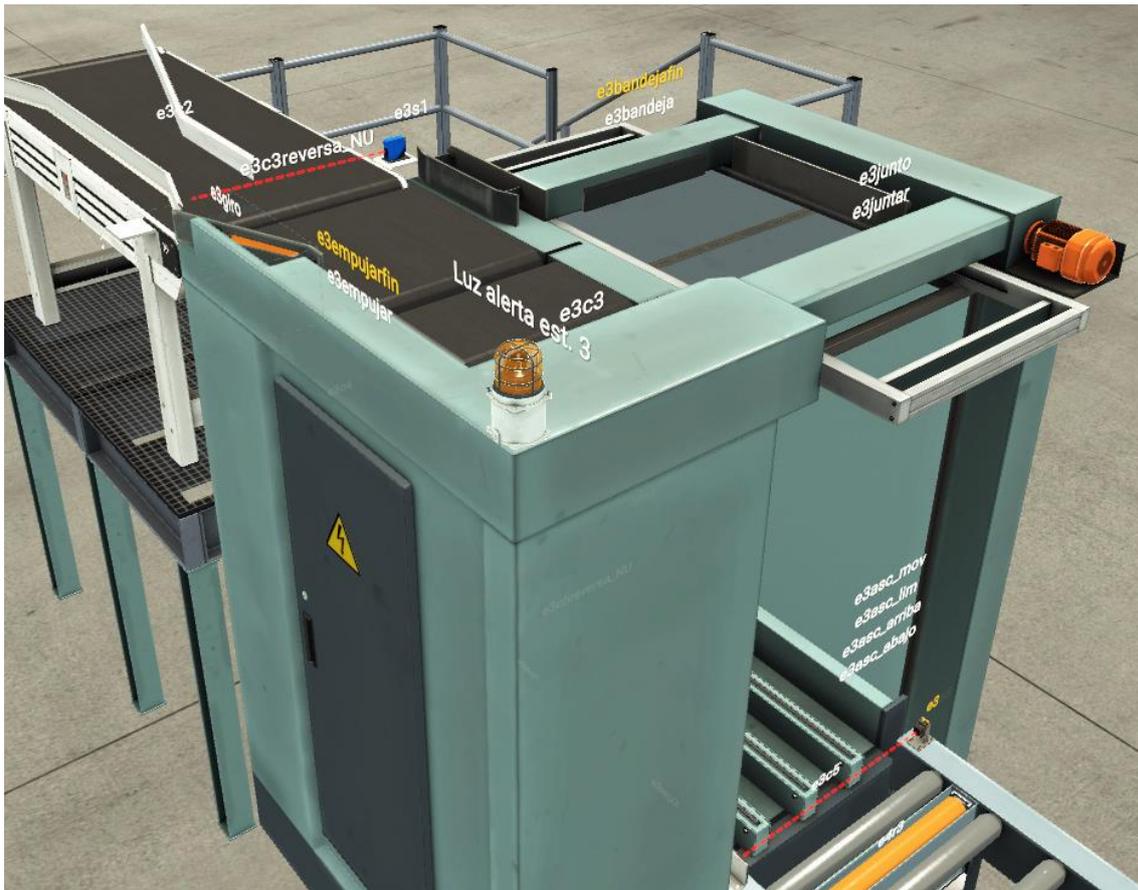


Figura 38: Modelado en Factory I/O de la parte superior de la estación 3



Figura 39: Modelado en Factory I/O de la parte inferior de la estación 3

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



Figura 40: Modelado en Factory I/O del cuadro de mandos de la estación 3



Figura 41: Modelado en Factory I/O de la estación 2

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 5.2 Pruebas y recopilación de información

El probado de la solución se realiza en dos etapas diferenciadas. Una primera donde se comprueba cada estación por separado, pasando después a una prueba general tras comprobar que todas son eficaces de manera aislada. Durante las pruebas individuales de cada estación el flujo de entrada se adapta al ritmo máximo de la estación sin llegar a saturarla. Esto es posible debido a que los generadores se sitúan en la cinta de entrada y generan cajas con separación uniforme, sin importar el tiempo de generación entre cajas. La prioridad de estas pruebas es comprobar que las funcionalidades esperadas de las estaciones se correspondan con lo implementado en simulación y no comprobar su funcionamiento ante flujo real.

En la primera estación, el flujo de entrada sí se corresponderá con la aplicación completa dado que es la entrada de todas las cajas del sistema y carece de sentido probarla con un flujo distinto. Este flujo simulado será ligeramente más rápido que el objetivo de 5 segundos entre cajas para comprobar cuál es el máximo flujo que puede soportar la estación. Tras diversas pruebas y la solución de algunos errores en la programación de la parada programada se concluye que el tiempo mínimo de procesamiento de cajas medio en tandas de hasta 2 horas es de 4.2 segundos por caja.

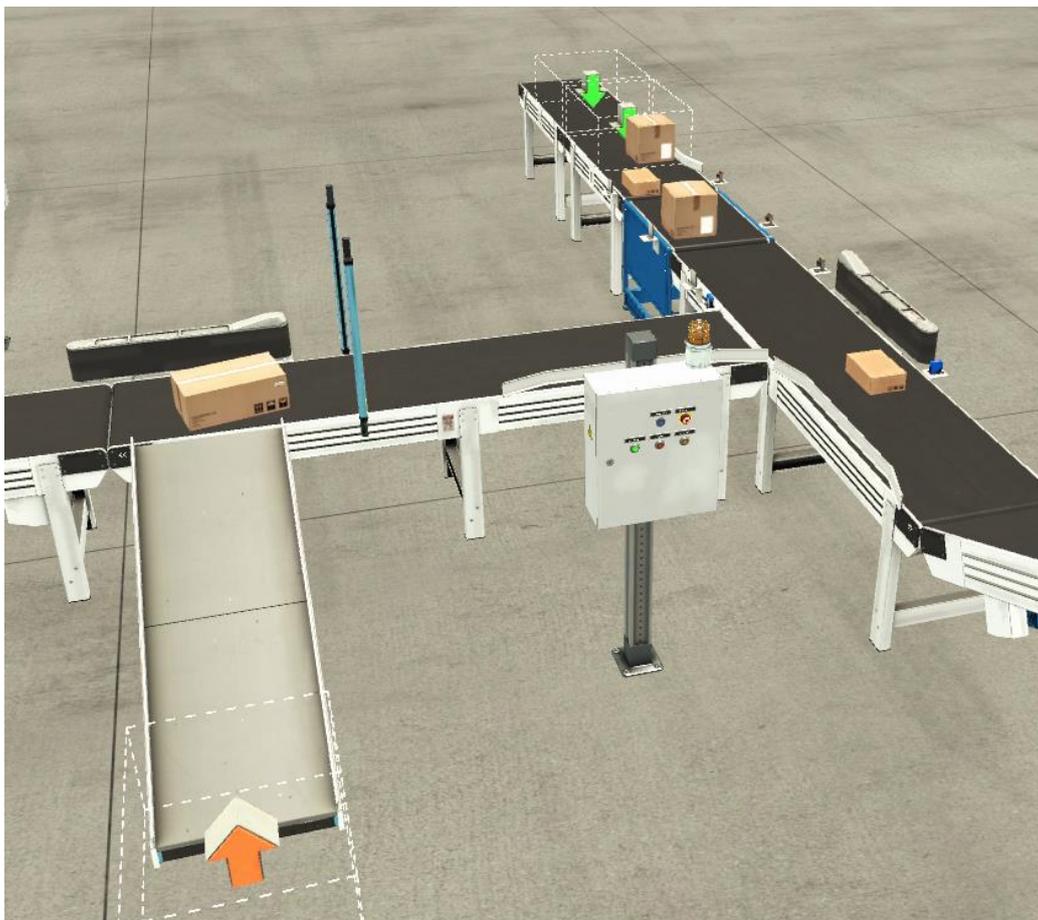


Figura 42: Pruebas de la primera estación en simulación

Antes de probar la estación 2 ha sido necesario encontrar las coordenadas en los ejes del pórtico de la posición de las cajas dentro del palé. Una vez encontradas la estación ha funcionado correctamente salvo algunos atascos ocasionales en el enderezamiento de las cajas

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

a la entrada. Para solventarlo se ha variado ligeramente el diseño de la simulación para incluir dos enderezadores, consiguiendo una operación más suave que evita colapsos en algunas posiciones de llegada de las cajas.

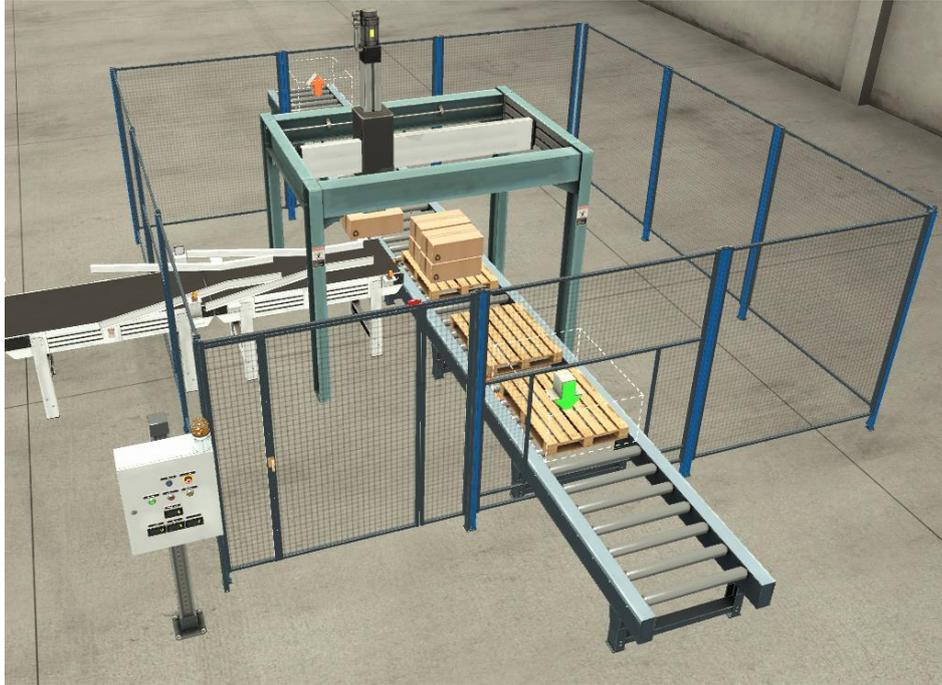


Figura 43: Pruebas de la segunda estación en simulación

Durante las pruebas de la estación 3 se ha detectado como los pistones que juntan las cajas en la plataforma de preparación ayudan a mantener una mejor estructura de las cajas paletizado durante el descenso del ascensor. Por ello, se ha modificado el programa para que en lugar de abrir los pistones mientras descendía el palet se mantuvieran hasta el cierre de la plataforma.



Figura 44: Pruebas de la tercera estación en simulación

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

La estación 4 ha resultado ser la que menores errores tenía en su programación, consiguiendo su correcto funcionamiento desde el principio de las pruebas.



Figura 45: Pruebas de la cuarta estación en simulación

Finalmente se pasa a las pruebas con todas las estaciones funcionando simultáneamente. En la etapa final no se comprueban las paradas de emergencia u otros fenómenos adversos que forzarían a paradas temporales. En lugar de eso, la atención se centra en comprobar el funcionamiento y coordinación de todas las estaciones con el flujo de entrada esperado en la instalación real. Estas pruebas pueden ser dinámicas o estáticas. Las dinámicas son aquellas en las que se altera el estado de alguna estación durante la ejecución para ver cómo afecta al resto del proceso. En las estáticas no se toca la instalación para simular un funcionamiento normal ideal y duran las 2 horas que puede estar activo el servidor OPC. Son revisadas en diferido a través del vídeo grabado. Para agilizar el proceso de revisión se acelera la velocidad del vídeo, deteniéndose únicamente en momentos donde se haya producido alguna anomalía.



Figura 46: Pruebas generales de la línea de producción simulada

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 5.3 Resultados

Para evaluar los datos obtenidos a partir de la evaluación es importante tener en cuenta los límites de esta. Si bien los equipos simulados tienen funcionalidades muy similares a los reales y su tamaño es similar, la velocidad en sus movimientos no se puede adaptar a los de los equipos reales. Esto supone que los tiempos de ciclo obtenidos pueden ser distintos a los de la instalación real en función de la calidad y velocidad de los equipos que se instalen. A su vez tampoco se han simulado posibles imperfecciones en las propias cajas o en los equipos, eliminando parte de la variabilidad propia de la instalación real.

Tras estas consideraciones los resultados de las pruebas avalan la correcta clasificación de las cajas en los 3 tamaños. En todas las pruebas no se ha detectado ninguna clasificación errónea, lo que corrobora que el método de clasificación es muy robusto. También se ha respetado el tiempo por caja medio, logrando reducirse desde los 5 segundos que tenían como requisito mínimo hasta los 4 segundos entre caja y caja.

En las pruebas individuales de cada estación se han establecido los tiempos máximos teóricos de las mismas. Se denominan teóricos debidos a que son en simulación con condiciones ideales, es decir, entrando las cajas lo más rápido posible sin provocar atascos. El tiempo mínimo de la formación de un palé con 6 cajas medias es de 50 segundos. Este tiempo aumenta hasta el minuto y 50 segundos para el palé con 24 cajas pequeñas.

Para el almacenamiento de los palés automático se emplea de media unos 30 segundos de media en la introducción o extracción de un palé de una estantería. Este tiempo variará en función de la posición que ocupe la estantería sobre la que se opera. El paso de un palé directamente a la salida tarda unos 9 segundos.



Figura 47: Prueba de almacenamiento de palés con cajas en simulación

El único inconveniente de la solución propuesta encontrado durante las pruebas es la variabilidad del tiempo de procesado de una caja en la paletización de cajas pequeñas, y en menor medida en el pórtico. Al no ser una operación regular en el tiempo, es más fácil la acumulación de cajas en los momentos de cambio del palé finalizado por uno nuevo. Si estos momentos críticos se juntan con picos de fabricación pueden llegar a provocar desajustes que se deben vigilar. Para minimizar estos tiempos críticos en la simulación se han proporcionado

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

los palés de forma continua y muy seguida, algo que en la instalación real es fácilmente replicable. La mejor solución en caso de que la fabricación fuera más irregular de lo que inicialmente se ha planteado es la adición de más almacenamiento intermedio a las salidas de la estación 1. Por ejemplo, con una cinta que vaya acumulando cajas con movimientos paso a paso.

En definitiva, la simulación es el primer paso a la hora de la validación de la línea diseñada, tanto en funcionalidades básicas como en su comportamiento con elementos con físicas bastante realista. Gracias a ella es más difícil que aparezcan problemas imprevistos durante el montaje definitivo y se ha podido detectar posibles puntos críticos en el flujo de productos durante la operación normal que será necesario monitorizar. Las pruebas han sido un éxito en su conjunto y no ha sido necesarios grandes cambios o reingenierías en la solución planteada inicialmente.



Figura 48: Vista general de la línea de clasificación y paletizado de cajas simulada

## **CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES**

En conclusión, la línea de clasificación de cajas, paletizado y almacenamiento automatizado es capaz de cumplir todos los objetivos que se habían marcado: robusta, modular, flexible, ampliable y eficaz. Gracias al uso de entradas y salidas distribuidas, junto con un planteamiento en estaciones modulares, se ha podido lograr el diseño de 4 estaciones que se combinan en el producto final. Como consecuencia de este planteamiento, es incluso posible integrar en futuros proyectos estas estaciones en otras líneas de producción sin necesidad de volver a diseñarlas de cero.

Una mayor complejidad a la hora de programar en una herramienta tan completa y polivalente como Codesys se ve recompensada con una gran libertad a la hora de realizar el proyecto. Gracias a ello no ha habido problemas de compatibilidad para implementar ningún elemento de los propuestos durante el diseño, tanto a nivel de hardware como de programación. Estas ventajas son las que impulsan el uso de esta herramienta, incluso por parte de fabricantes como Festo o Lenze, y aumentan su relevancia en el sector. El conocimiento que se ha adquirido sobre los distintos programas y tecnologías será muy útil para el futuro del proyectista al seguir formas de trabajo actuales y prácticas.

Durante la ejecución del proyecto ha sido fundamental la simulación, tanto del PLC de forma independiente como la elaboración del gemelo digital de toda la línea de Factory I/O. Este programa ha demostrado un gran desempeño y ha permitido el desarrollo completo de la metodología de trabajo de gemelo digital. La simulación de la planta en su conjunto permite un ahorro de tiempo muy importante, especialmente a la hora de detección de errores y mejora de los diseños. A su vez es fundamental el ahorro económico que supone en el desarrollo, sobre todo en las fases iniciales ya que permite el trabajo sin la adquisición y montaje de los equipos físicos.

El elemento crucial que contiene la metodología del gemelo digital es el carácter visual de la simulación, lo cual potencia positivamente la presentación del proyecto a otras personas. Ya sea para captar clientes o para recibir sus opiniones sobre posibles cambios que mejoren la instalación. Todo ello con la máxima comodidad e inmediatez. El gemelo digital se convierte en un apoyo indispensable para el éxito de todo tipo de proyectos, siendo los de automatización uno de los que más se aprovecha.

Finalmente, tras experimentar el gran impacto que ha supuesto la COVID-19 durante la realización del proyecto, la simulación deja de ser opcional y pasa a un carácter fundamental en los proyectos de automatización. Ha sido gracias a la simulación que el ingeniero desarrollador no se ha visto afectado por las distintas restricciones en la movilidad y ha podido trabajar de forma constante desde su lugar de trabajo habitual, sin necesidad urgente de la presencialidad en la UPV para elaborar este TFM.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## REFERENCIAS

- [1] Tema 1: Introducción. Diapositivas asignatura Automatización Industrial, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universitat Politècnica de València.
- [2] NEMA (2013). *Programmable Controllers, Part 1: General Information*. ICS 61131-1-2005 (R2013). Virginia: NEMA.
- [3] WIKIPEDIA. *Omron*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Omron> [Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [4] *Sección de Automatización Industrial del portal oficial de OMRON*.  
<https://industrial.omron.es/es/home> [Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [5] *Sección de Sistemas de Automatización Industrial del portal oficial de SIEMENS*.  
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial.html>  
[Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [6] *Portal oficial de Phoenix Contact*.  
<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es> [Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [7] *Sección de PLC y sistemas de E/S del portal oficial de Phoenix Contact*.  
[https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/eses/web/main/products/subcategory\\_pages/PLC\\_and\\_I\\_O\\_systems\\_P-21/cb588613-fd60-41e7-a3e4-61c93d94155e](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/eses/web/main/products/subcategory_pages/PLC_and_I_O_systems_P-21/cb588613-fd60-41e7-a3e4-61c93d94155e) [Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [8] *Sección de PLCnext Control del portal oficial de Phoenix Contact*.  
[https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/products/subcategory\\_pages/PLCnext\\_Controls\\_P-21-14/30b12f75-d769-4f0e-a783-4986ae3ae247](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/products/subcategory_pages/PLCnext_Controls_P-21-14/30b12f75-d769-4f0e-a783-4986ae3ae247) [Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [9] *Página oficial de Codesys*. <https://www.codesys.com/> [Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [10] *Página oficial de venta online de RS*.  
<https://es.rs-online.com/p/fotocelulas/6956836/> [Consulta: 6 de octubre de 2021]
- [11] *Página oficial de venta online de Cablematic*.  
<https://cablematic.com/es/productos/espejo-reflector-catadioptrico-para-fotocelula-fotoelectronica-77mm-redondo-TZ09400/> [Consulta: 6 de octubre de 2021]

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

[12] *Página oficial de Rockwell Automation.*

<https://www.rockwellautomation.com/en-fi/products/hardware/allen-bradley/sensors-and-switches/presence-sensors/photoelectric-sensors/light-array-photoelectric-sensors/45dla-discrete.html> [Consulta: 6 de octubre de 2021]

[13] *Página oficial de PCE Instruments.*

[https://www.pce-instruments.com/espanol/balanza/balanza/balanza-cinta-dini-argeo-balanza-de-cinta-dlw10-5080r2-det\\_2130223.htm?list=qr.art&listpos=1](https://www.pce-instruments.com/espanol/balanza/balanza/balanza-cinta-dini-argeo-balanza-de-cinta-dlw10-5080r2-det_2130223.htm?list=qr.art&listpos=1) [Consulta: 6 de octubre de 2021]

[14] *Página de venta de cintas en Alibaba de la marca JiaBao.*

[https://www.alibaba.com/product-detail/Assembly-line-equipment-high-quality-stainless\\_60766537063.html?spm=a2700.7724857.normal\\_offer.d\\_title.4e687f02IWFLy3](https://www.alibaba.com/product-detail/Assembly-line-equipment-high-quality-stainless_60766537063.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.4e687f02IWFLy3) [Consulta: 6 de octubre de 2021]

[15] *Página oficial de mh modules.*

<https://www.mhmodules.com/pa1500-stop> [Consulta: 6 de octubre de 2021]

[16] *Sección de paletizadores por ejes cartesianos de la página oficial de YM Packaging Group.*

<https://ympackaging.com/paletizador-por-cartesiano-ym-packaging/> [Consulta: 6 de octubre de 2021]

[17] *Sección de transelevadores de palés de la página oficial de Mecalux.*

<https://www.mecalux.es/almacenes-automaticos/almacenes-automaticos-palets/transelevadores-palets> [Consulta: 6 de octubre de 2021]

[18] AFNOR (1993). *Guía de Estudio de Modos de Marchas y Paradas (GEMMA)*. UTE C 03-191. Paris: AFNOR.

[19] RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, M. A. (2010). *Automatización industrial*. Almería: Tutorial Formación.

[20] GARCÍA MORENO, E. y Universidad Politécnica de Valencia (1999). *Automatización de procesos industriales : robótica y automática*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.

[21] RODRÍGUEZ PENIN, A. (2008). *Comunicaciones industriales*. Barcelona: Marcombo.

[22] PONSAS ASENSIO, P. y VILANOVA ARBÓS, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Barcelona: Edicions UPC.

---

DOCUMENTO N°2:

# **PRESUPUESTO**

---

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## PRESUPUESTO

En este documento se desarrolla el presupuesto correspondiente a este proyecto. En concreto, se contabiliza el desarrollo del proyecto, tanto el diseño de la línea como su simulación, y los costes de su construcción. El presupuesto está dividido en una serie de tablas gracias a las cuales se ha podido, a partir de los costes de los elementos por separado, plantear el coste total del desarrollo de este proyecto.

### 1 Cuadros de precios

#### 1.1 Materiales

Los precios unitarios de los materiales necesarios para la materialización de la línea proyectada se presentan en la siguiente tabla. Los precios de los equipos de control con marca Phoenix Contact contemplados en el cuadro de precios de los materiales son los ofertados por la tienda Electric Automation Network, con sede en Quart de Poblet. Los sensores se adquieren en distintas tiendas según precio y disponibilidad. El resto de los elementos del cuadro son equipamiento realizado externamente por empresas subcontratadas, por lo que el precio se establece en base a estimaciones del mercado.

Tabla 1: Cuadro de precios de los materiales

Descripción	Coste (€/unidad)
Controlador PLC AXC F 1152 (Referencia: 1151412)	402,80 €
Acoplador PROFINET de entradas y salidas distribuidas (Referencia: 2703994)	472,00 €
Módulo de 2 entradas digitales Inline IB IL 24 DI 2-PAC (Referencia: 2861221)	46,49 €
Módulo de 4 entradas digitales Inline IB IL 24 DI 4-PAC (Referencia: 2861234)	73,71 €
Módulo de 2 entradas analógicas Inline IB IL AI 2/SF-PAC (Referencia: 2861302)	303,43 €
Módulo de 4 entradas analógicas Inline IB IL AI 4/U-PAC (Referencia: 2700459)	246,08 €
Módulo de 2 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 2-PAC (Referencia: 2861470)	63,88 €
Módulo de 8 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 8-PAC (Referencia: 2861289)	178,23 €
Módulo de 16 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 16-PAC (Referencia: 2862961)	260,77 €
Módulo de 4 salidas analógicas Inline IL AO 4/U/0-10-ECO (Referencia: 2702498)	213,53 €
Sensor fotoeléctrico Normalmente Abierto (Referencia: XUK1APANM12)	79,36 €
Sensor fotoeléctrico Normalmente Cerrado (Referencia: XUK1APBNM12)	79,36 €

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Espejo reflector catadióptrico de BeMatik (Referencia: TZ094)	13,32 €
Sensor altura array discreto Allen-Bradley 45DLA (Referencia: 1L3B6T-F4)	401,98 €
Cinta con báscula integrada de la gama DLW10 (Referencia: DLW10/6510R2)	650,00 €
Cintas de transporte para cajas con banda PVC	2.800,00 €
Cintas de transporte para palés con rodillos	4.000,00 €
Brazo pivotante con cinta incorporada	300,00 €
Parador de palés en cintas de rollos	100,00 €
Pórtico paletizador de 3 ejes	5.000,00 €
Máquina paletizadora de cajas pequeñas	3.000,00 €
Carro transelevador con estanterías	15.000,00 €
Armarios eléctricos con cuadro de mandos incorporado	600,00 €
Pack de conectores para cable PROFINET	10,00 €
Rollo de cable PROFINET	40,00 €
Materiales varios para el conexionado de los elementos (cables, canaletas, etc.)	1.000,00 €

## 1.2 Mano de obra

El desarrollo del proyecto y su coordinación ha sido realizado por un ingeniero en Tecnologías Industriales. El montaje lo realizan un número indeterminado de electricistas e instaladores. Para calcular sus costes asociados se acumulan todas las horas en la unidad de mano de obra, independientemente del número de personas que hayan participado.

Tabla 2: Cuadro de precios de la mano de obra

Descripción	Coste (€/h)
Ingeniero en Tecnologías Industriales	20,00 €
Electricista industrial	15,00 €
Técnico instalador	12,00 €

## 1.3 Equipos amortizados linealmente

Para el estudio pormenorizado de la amortización lineal de los equipos empleados se han seleccionado solo aquellos que se utilizan al menos 2 días.

Tabla 3: Cuadro de precios de los equipos de uso habitual

	Precio de compra	Precio residual	Vida útil (meses)	Coste (€/mes)
Ordenador portátil	900,00 €	0,00 €	36	25,00 €
Licencia Factory I/O	36,00 €	0,00 €	12	3,00 €

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 2 Cuadro de precios descompuestos

El presupuesto total se ha dividido en tres capítulos: el diseño del sistema, la realización de los ensayos, donde está incluida la simulación de la línea y su análisis, y el montaje de la línea.

Tabla 4: Cuadro de precios descompuestos

Código UO	Ud	Descripción	Medición	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Diseño del sistema</b>			
<b>1.1</b>		<b>Estudio del estado del arte</b>			
	mes	Ordenador portátil	1	25,00 €	25,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	10	20,00 €	200,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>225,00 €</b>
<b>1.2</b>		<b>Diseño de la línea</b>			
	mes	Ordenador portátil	2	25,00 €	50,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	50	20,00 €	1.000,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>1.050,00 €</b>
<b>1.3</b>		<b>Diseño del automatismo</b>			
	mes	Ordenador portátil	2	25,00 €	50,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	140	20,00 €	2.800,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>2.850,00 €</b>
<b>2</b>		<b>Realización de ensayos simulados</b>			
<b>2.1</b>		<b>Elaboración del prototipo simulado</b>			
	mes	Ordenador portátil	2	25,00 €	50,00 €
	mes	Licencia Factory I/O	2	3,00 €	6,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	80	20,00 €	1.600,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>1.656,00 €</b>
<b>2.2</b>		<b>Ejecución de pruebas y análisis</b>			
	mes	Ordenador portátil	1	25,00 €	25,00 €
	mes	Licencia Factory I/O	1	3,00 €	3,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	20	20,00 €	400,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>428,00 €</b>
<b>3</b>		<b>Montaje de la línea proyectada</b>			
<b>3.1</b>		<b>Montaje físico de los equipos</b>			
	mes	Ordenador portátil	1	25,00 €	25,00 €
	Ud	Controlador PLC AXC F 1152 (Referencia: 1151412)	1	402,80 €	402,80 €
	Ud	Acoplador Profinet entradas y salidas	4	472,00 €	1.888,00 €

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

		distribuidas (Referencia: 2703994)			
	Ud	Módulo de 2 entradas digitales Inline IB IL 24 DI 2-PAC (Referencia: 2861221)	2	46,49 €	92,98 €
	Ud	Módulo de 4 entradas digitales Inline IB IL 24 DI 4-PAC (Referencia: 2861234)	1	73,71 €	73,71 €
	Ud	Módulo de 2 entradas analógicas Inline IB IL AI 2/SF-PAC (Referencia: 2861302)	1	303,43 €	303,43 €
	Ud	Módulo de 4 entradas analógicas Inline IB IL AI 4/U-PAC (Referencia: 2700459)	1	246,08 €	246,08 €
	Ud	Módulo de 2 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 2-PAC (Referencia: 2861470)	2	63,88 €	127,76 €
	Ud	Módulo de 8 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 8-PAC (Referencia: 2861289)	2	178,23 €	356,46 €
	Ud	Módulo de 16 salidas digitales Inline IB IL 24 DO 16-PAC (Referencia: 2862961)	1	260,77 €	260,77 €
	Ud	Módulo de 4 salidas analógicas Inline IL AO 4/U/0-10-ECO (Referencia: 2702498)	1	213,53 €	213,53 €
	Ud	Sensor fotoeléctrico Normalmente Abierto (Referencia: XUK1APANM12)	3	79,36 €	238,08 €
	Ud	Sensor fotoeléctrico Normalmente Cerrado (Referencia: XUK1APBNM12)	13	79,36 €	1.031,68 €
	Ud	Espejo reflector catadióptrico de BeMatik (Referencia: TZ094)	16	13,32 €	213,12 €
	Ud	Sensor altura array discreto Allen-Bradley 45DLA (Referencia: 1L3B6T-F4)	1	401,98 €	401,98 €
	Ud	Cinta con báscula integrada de la gama DLW10 (Referencia: DLW10/6510R2)	1	650,00 €	650,00 €
	Ud	Cintas de transporte para cajas con banda PVC	1	2.800,00 €	2.800,00 €
	Ud	Cintas de transporte para palés con rodillos	1	4.000,00 €	4.000,00 €
	Ud	Brazo pivotante con cinta incorporada	2	300,00 €	600,00 €
	Ud	Parador de palés en cintas de rollos	3	100,00 €	300,00 €
	Ud	Pórtico paletizador de 3 ejes	1	5.000,00 €	5.000,00 €
	Ud	Máquina paletizadora cajas pequeñas	1	3.000,00 €	3.000,00 €
	Ud	Carro transelevador con estanterías	1	15.000,00 €	15.000,00 €
	Ud	Armarios eléctricos con cuadro de mandos incorporado	1	600,00 €	600,00 €
	h	Electricista industrial	200	15,00 €	3.000,00 €
	h	Técnico instalador	500	12,00 €	6.000,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	10	20,00 €	200,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>47.025,38 €</b>

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

<b>3.2</b>		<b>Conexión eléctrico de la línea</b>			
	mes	Ordenador portátil	1	25,00 €	25,00 €
	Ud	Pack de conectores para cable PROFINET	1	10,00 €	10,00 €
	Ud	Rollo de cable PROFINET	1	40,00 €	40,00 €
	Ud	Materiales varios para el conexionado de los elementos (cables, canaletas, etc.)	1	1.000,00 €	1.000,00 €
	h	Electricista industrial	200	15,00 €	3.000,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	10	20,00 €	200,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>4.275,00 €</b>
<b>3.3</b>		<b>Probado de la instalación</b>			
	mes	Ordenador portátil	1	25,00 €	25,00 €
	h	Electricista industrial	24	15,00 €	360,00 €
	h	Técnico instalador	24	12,00 €	288,00 €
	h	Ingeniero en Tecnologías Industriales	24	20,00 €	480,00 €
				<b>Coste total:</b>	<b>1.153,00 €</b>

### 3 Cuadro de precios unitarios

En la siguiente tabla se presenta el precio de cada unidad de obra. El presupuesto se ha estructurado de manera que cada unidad de obra represente un concepto único en el proyecto. Por tanto, el precio de la siguiente tabla representa el coste total de las unidades de obra en el conjunto del proyecto.

Tabla 5: Cuadro de precios unitarios

Código	Descripción de la unidad de obra	Importe
1.1	Estudio del estado del arte	225,00 €
1.2	Diseño de la línea	1.050,00 €
1.3	Diseño del automatismo	2.850,00 €
2.1	Elaboración del prototipo simulado	1.656,00 €
2.2	Ejecución de pruebas y análisis	428,00 €
3.1	Montaje físico de los equipos	47.025,38 €
3.2	Conexión eléctrico de la línea	4.275,00 €
3.3	Probado de la instalación	1.153,00 €

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

#### 4 Cuadro de presupuesto base de licitación

Tabla 6: Cuadro de presupuesto base de licitación

Nº Capítulo	Nombre Capítulo	Importe
1	Diseño del sistema	4.125,00 €
2	Realización de ensayos	2.084,00 €
3	Montaje de la línea proyectada	52.453,38 €
Presupuesto de Ejecución Material:		58.662,38 €
Gastos generales (13%):		7.626,11 €
Beneficio industrial (6%):		3.519,74 €
Presupuesto de ejecución por contrata:		69.808,23 €
IVA (21%):		14.659,73 €
<b>Presupuesto de Licitación:</b>		<b>84.467,96 €</b>

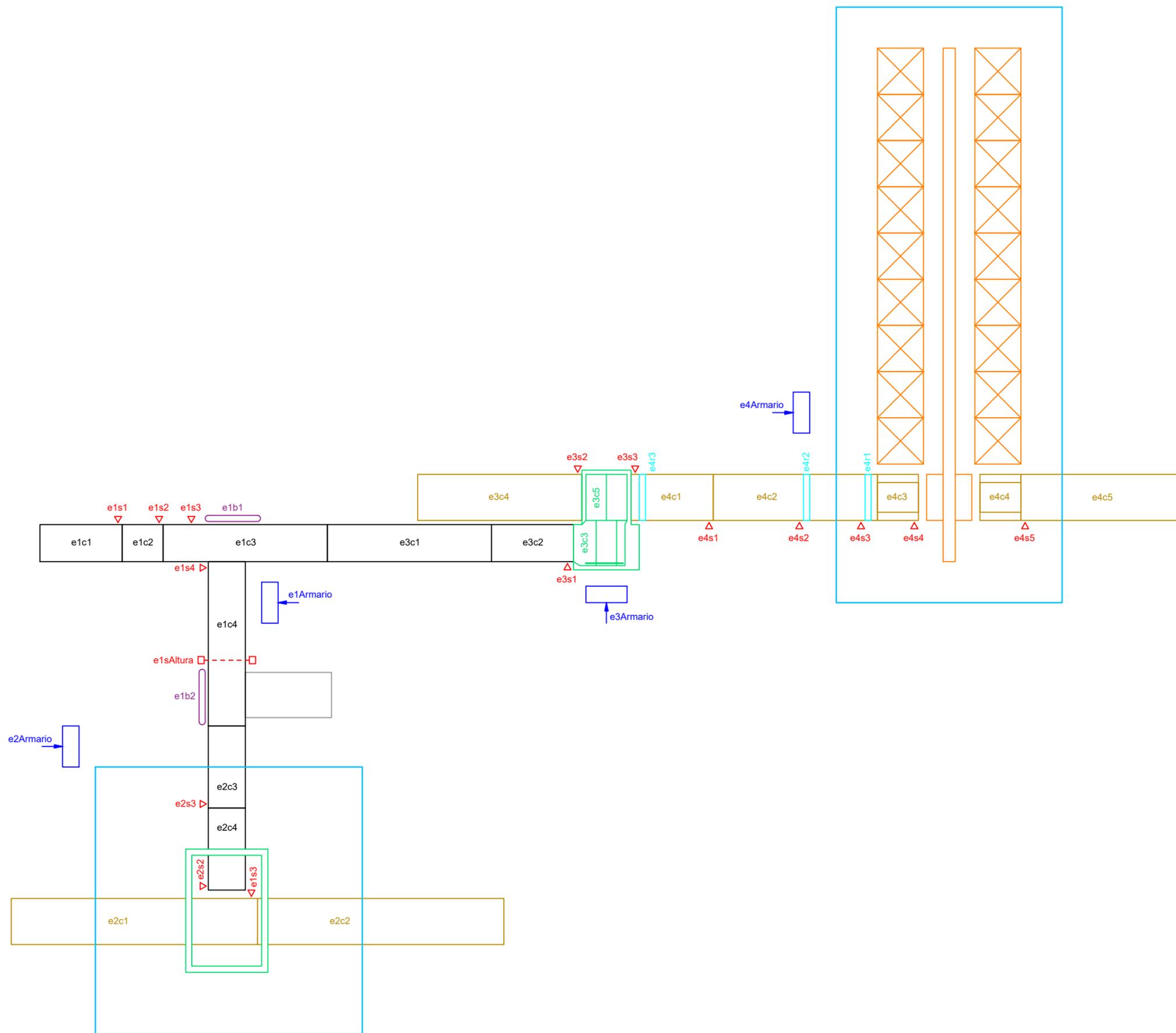
El presupuesto base de licitación asciende a OCHENTA Y CUATRO MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y SIETE EUROS y NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS.

---

DOCUMENTO N°3:

**PLANO**

---



LEYENDA	
	Armario estación
	Fotocélula
	Sensor altura
	Cintas para cajas
	Cintas para palés
	Vallado
	Máquina paletizadora
	Almacenamiento palés
	Parador de palés
	Rampa para cajas
	Brazos desviadores

---

DOCUMENTO N°4:

**PLIEGO**  
**CONDICIONES**

---

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 1 Objeto

El presente documento hace referencia a las exigencias técnicas y legales que deberán cumplir durante la ejecución del proyecto. Para el correcto funcionamiento del proyecto se supervisará el cumplimiento exhaustivo de las condiciones técnicas expuestas en los siguientes apartados. En caso de incumplimiento u omisión de cualquiera de las condiciones implica la posibilidad de exclusión de la oferta.

## 2 Plazos

El programa previsto para la ejecución del proyecto, las instalaciones, incluido el cableado, diseño del automatismo y puesta en marcha del proyecto completo se estima en 6 semanas a partir del inicio del montaje.

El plazo máximo de entrega de la instalación y puesta en marcha de todos los elementos del presente contrato será aproximadamente antes del 15 de Marzo de 2022.

Se seguirán las indicaciones de la empresa, siendo el responsable de planta el que adecúe los plazos del proyecto a las necesidades productivas de la fábrica.

## 3 Ubicación

El centro en el que se realiza el proyecto de DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA LINEA LOGÍSTICA DE CLASIFICACIÓN, PALETIZADO Y ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS EMPLEANDO FACTORY I/O PARA SU EVALUACIÓN MEDIANTE GEMELO DIGITAL, se localiza en el polígono industrial XXX, en la localidad de XXX.

## 4 Normativa Aplicable

- **UNE-EN IEC 61131:2019:** Estándar Internacional para autómatas programables emitido por la Comisión Electrotécnica Internacional.
- **UNE-EN 60848:2013:** Lenguaje de especificación GRAFCET para diagramas funcionales secuenciales.
- **UNE-EN 61508:2011:** Seguridad funcional de los sistemas electrónicos programables relacionados con la seguridad.
- **UNE-EN 60870-5-101:2003:** Norma para las funciones básicas de los equipos y sistemas de telecontrol.
- **UNE-EN 60870-5-104:2006:** Protocolos de transmisión. Acceso a redes utilizando perfiles de transporte normalizados por la norma IEC 60870-5-101.
- **UNE-EN 62439:2018:** Redes de comunicación industrial. Redes de automatización de alta disponibilidad.
- **UNE-EN ISO 13849-1:2006 y 13849-1:2006:** Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad.
- **UNE-EN ISO 13850:2016:** Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

- **UNE-EN IEC 62541:2020**: Arquitectura unificada OPC.
- **RD 842/2002** de 2 de agosto: Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- **Ley 24/2013** de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- **UNE-EN 61439-1:2012**: Conjuntos de aparamenta de baja tensión. Parte 1:Reglas generales.
- **UNE-EN ISO 11161:2009/A1:2010**: Seguridad de las máquinas. Sistemas de fabricación integrados. Requisitos fundamentales.
- **Real Decreto 187/2016** de 6 de mayo, por el que se regulan las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

## 5 Condiciones Generales

Previo al inicio de la puesta en marcha de la instalación y tras la realización de las oportunas pruebas de funcionamiento en las condiciones de fabricación prefijadas, se llevará a cabo un acta en la que se adjuntará los certificados de calidad del sistema.

Las obras se realizarán en el plazo acordado en el contrato. Los trabajos se desarrollarán para que queden ejecutados dentro de los periodos previamente establecidos y así ejecutar la obra dentro del plazo exigido.

Si por causas de fuerza mayor o independientes de la voluntad del constructor no se pudiesen iniciar las obras, fuesen suspendidas o no se acabasen en los plazos prefijados, se otorgará una prórroga.

## 6 Condiciones Técnicas

### 6.1 Materiales

#### *6.1.1 Autómata programable*

El autómata por instalar será de la marca **Phoenix Contact** modelo **AXC F 1152**, constará adicionalmente de **4 acopladores PROFINET** de entradas y salidas distribuidas modelo **IL PN BK DI8 DO4 2TX-PAC**. Deberá cumplir la norma 2006/42/CEE relativa a la seguridad de las máquinas, estableciendo así las bases para la evaluación prevención de riesgos, así como la IEC61508, para garantizar la seguridad en sistemas electrónicos programables.

Todos los módulos, incluyendo el autómata estarán adecuadamente identificados con marca, número de serie e identificación individual. Adicionalmente, los módulos estarán garantizados por defectos de fabricación por un periodo de un año.

#### *6.1.2 Resto de aparatos eléctricos y electrónicos*

Todos los aparatos que forman parte de los tanto de los cuadros eléctricos como en el resto de la instalación deberán cumplir con las normativas aplicables anteriormente. De esta manera se garantiza tanto la seguridad de las máquinas de la instalación, así como de las personas que hagan uso de ella.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### *6.1.3 Software*

Se utiliza el programa Codesys en su versión V3.5 SP16 V5 para la programación del PLC y la configuración de la red PROFINET. La simulación se realiza sobre el programa Factory I/O (versión 2.4.3) a través del servidor OPC con KEPServerEX 6.

### *6.1.4 Comunicaciones*

Para la comunicación entre los dispositivos de la red se hará uso de una conexión PROFINET y se utilizarán cables de red ETHERNET de tipo RJ-45 de color verde. El cable contará con protección DTP (Par trenzado con pantalla global) de categoría CAT-6, con una velocidad de hasta 10.000 Mbps a menos de 55 metros y un ancho de banda de 250 MHz, todo ello compatible con las normas de CAT5/5e y CAT3.

## **6.2 Ejecución**

### *6.2.1 Programación*

Se hará uso de varios lenguajes de programación para la implementación del automatismo, escogiendo en cada momento el que se considere más adecuado. El más usado es el lenguaje de tipo GRAFCET (SFC), seguido del esquema de contactos (LD) y en algunos casos puntuales se usa el texto estructurado (ST). Se programará de forma que será, de fácil comprensibilidad general y de la forma más sencilla en la medida de lo posible.

### *6.2.2 Cableado y comunicación*

Entre los distintos armarios solamente será necesario el conexionado de los cables de la red PROFINET con conectores RJ-45 seguirá la norma IEC 61784-5. En el caso de requerirse una ampliación de conexiones se utilizará un switch industrial genérico compatible.

El resto de equipos están conectados a uno de los armarios correspondientes a cada estación. Se intentará agrupar los cables entorno a las estructuras presentes en la línea, como cintas o estructura de las máquinas. Todo ello con el objetivo de una mayor orden y facilidad para mantenimientos. Todos los cables irán correctamente etiquetados.

### *6.2.3 Puesta en Marcha*

Para una correcta verificación de la instalación, se realizarán los siguientes ensayos:

En primer lugar, se realizará una comprobación de las señales para verificar la correcta activación de entradas y salidas de todos los sensores y actuadores.

En segundo lugar, se efectuará una prueba real con cajas, de forma que se compruebe un correcto funcionamiento del conjunto. Esto incluirá también el correcto funcionamiento de todos los modos y funcionalidades, así como las paradas de emergencia seguras y rearmes.

Finalmente se realizará una monitorización durante un par de días con funcionamiento constante para demostrar un correcto funcionamiento. En el caso de evidenciarse algún problema de funcionamiento en el plazo estipulado, se realizarán las modificaciones necesarias hasta conseguir solventarlo.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## **7 Condiciones Facultativas**

### **7.1 Obligaciones del director de montaje**

Las condiciones técnicas recogidas en este documento, serán de obligado cumplimiento para el director de montaje, siendo este el máximo responsable de la ejecución de la obra.

El director de montaje decidirá sobre el comienzo, plazos y calidad de los trabajos ejecutándolos dentro de las condiciones técnicas recogidas en este documento.

También será responsable de la comprobación de que todos los trabajos sean ejecutados por personas preparadas para cada tipo de trabajo, así como de los elementos de la instalación y de la correcta verificación, prueba y ensayo de materiales, de la ejecución de la obra y otros controles que aseguren la calidad de la obra de acuerdo con el proyecto y normativa aplicable.

De igual modo es responsabilidad del director de montaje la coordinación de la obra, facilitando la interpretación técnica, económica del mismo. Así como la redacción de las modificaciones del proyecto que se realicen.

De la misma manera, será responsable de la seguridad de los trabajadores y de los posibles accidentes ocurridos durante la instalación del proyecto como en su uso posterior, atendándose a la legislación vigente sobre la materia.

### **7.2 Obligaciones del director de programación**

Las condiciones técnicas recogidas en este documento serán de obligado cumplimiento para el director de programación, este aceptará y se comprometerá a finalizar dentro del plazo exigido, la ejecución y puesta en marcha del programa.

La instalación del programa y de los dispositivos asociados será ejecutado por personal cualificado y preparado para la instalación del mismo.

El director de programación será el responsable de que se cumplan todas aquellas especificaciones indicadas en la memoria del proyecto, así como de los posibles daños ocasionados por una incorrecta programación de los controladores.

### **7.3 Facultades de la dirección técnica**

Tanto el director de montaje como el de programación están obligados a resolver toda duda que surja de la interpretación de los documentos técnicos del proyecto, así como del funcionamiento de la instalación. Se verificarán los materiales antes de su montaje, de forma que sin su aprobación no podrán ser utilizados. Aquellos componentes que no recojan las características técnicas demandadas podrán ser desechados por no considerarse aptos.

## **8 Condiciones Económicas**

### **8.1 Principio General**

Todos los Ingenieros y Técnicos partícipes en la instalación del sistema de control tienen derecho a recibir la cantidad pactada entre ellos. El contratista y la parte contratada tienen derecho a exigirse recíprocamente las garantías del cumplimiento de sus obligaciones.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 8.2 Fianzas

El contratista formalizará un primer pago previo en forma de fianza del 20% del coste total del proyecto. La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de treinta días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la Obra. La propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tal que salarios, suministros, subcontratos, etc.

Condiciones:

- En caso de que el proyecto sea anulado antes de su comienzo, la fianza será reembolsada íntegra.
- En el caso de que el proyecto no haya comenzado en 20 días naturales desde la fecha especificada, la fianza podrá ser reclamada en su totalidad.
- En el caso de que el proyecto haya comenzado y el contratista decida anular dicho proyecto, la fianza no será reembolsada y se verá obligado a realizar un pago de un 10% del coste total del proyecto en concepto de daños y perjuicios.

## 8.3 Pagos

Una vez comenzado el proyecto, el contratista dispone de un máximo de 15 días hábiles para la realización del primer pago, siendo un 50% del coste total del proyecto.

El segundo pago se realizará en un plazo máximo de 15 días tras que haya sido firmada la recepción del Acta de Recepción Definitiva de la Obra.

## 8.4 Precios generales

Los gastos asociados a pruebas y ensayos de materiales que intervengan en la ejecución de la obra serán cubiertos por el contratista. Toda modificación o mejora no acogida en el presupuesto será a cargo del contratante.

## 8.5 Garantía y asistencia técnica

La garantía del proyecto será de 2 años desde el fin de la puesta en marcha de la instalación, la garantía incluye:

Sustitución del equipamiento o reparación del mismo según proceda, mano de obra, piezas de repuesto o elementos necesario para pruebas de funcionamiento (a excepción de suministro eléctrico, agua y gas).

También se incluirá mantenimiento preventivo, en concreto las tareas de revisión de equipos y sustitución de piezas, de acuerdo con los protocolos del fabricante del equipamiento, incluyendo desplazamientos, mano de obra y piezas.

El adjudicatario prestará asistencia técnica para la reparación y, en su caso, mantenimiento del suministro durante el periodo de garantía del contrato. Asimismo, se compromete a prestar asistencia técnica y proporcionar piezas de recambio del material ofertado durante los cinco años posteriores a la finalización del plazo de garantía.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 9 Condiciones Legales

### 9.1 Perfil del contratista

Cualquier aclaración o modificaciones del pliego será publicada única y exclusivamente en el perfil del contratista con la debida antelación.

### 9.2 Forma de adjudicación

El contrato que resulta de aplicación al presente pliego, por su cuantía está sujeto a regulación armonizada, siendo la forma de adjudicación el procedimiento negociado después de las debidas consultas y negociaciones de las condiciones del contrato.

### 9.3 Formalización del contrato

La formalización del contrato se realizará a través de la firma del contratista de la resolución de adjudicación. En ningún caso se podrá iniciar la ejecución del contrato sin su previa formalización, que se producirá en el plazo máximo de cuatro días naturales desde que el adjudicatario hubiera recibido el requerimiento.

### 9.4 Arbitrio

En el caso de ser necesario algún tipo de arbitrio, este se llevará a cabo mediante la jurisprudencia municipal o comarcal en la que se sitúe la obra, sometiéndose así ambas partes a las leyes y normas del susodicho municipio.

### 9.5 Responsabilidades del contratista

El contratista diseñará, instalará y comprobará el adecuado funcionamiento del producto por el cual ha sido contratado, cumpliendo con las especificaciones técnicas fijadas por el cliente.

#### *9.5.1 Responsabilidad de cumplir con las especificaciones de diseño*

El contratista diseñará e instalará el producto para el cual ha sido contratado, cumpliendo con las especificaciones técnicas marcadas por el cliente.

#### *9.5.2 Responsabilidad por las actividades en el sitio de la obra*

El contratista asumirá la completa responsabilidad de seguridad y estabilidad de las actividades y los métodos de instalación y mano de obra del producto en el emplazamiento. Se le eximirá la responsabilidad del diseño y elaboración de las condiciones técnicas, así como la seguridad asociada al funcionamiento de la instalación.

#### *9.5.3 Responsabilidad respecto a los empleados*

El contratista será el responsable de la competencia técnica y profesional de sus empleados y elegirá a personas fiables que desempeñen adecuadamente la ejecución del contrato.

#### *9.5.4 Responsabilidad frente a usos indebidos*

El contratista no se hace responsable de los posibles daños o defectos asociados a la modificación por parte ajena al mismo del producto.

#### *9.5.5 Responsabilidad frente a daños*

El contratista solo se hace responsable de los daños o perjuicios del producto si este se encuentra en garantía o si es dañado durante la ejecución del proyecto.

---

DOCUMENTO N°5:

# **ANEXOS**

---

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## **ANEXO 1: Manual de usuario**

En este anexo se va a presentar una guía de la línea diseñada para su correcto uso por parte del usuario final. En ella se explican las instrucciones de uso destinadas a los operarios de la planta. Para el manejo de la instalación hay que tener en cuenta la existencia de 4 estaciones diferenciadas:

- Estación 1: Recepción y clasificación de cajas
- Estación 2: Paletizado cajas medianas
- Estación 3: Paletizado cajas pequeñas
- Estación 4: almacenamiento de palés con cajas pequeñas

Cada una de ellas cuenta con un cuadro de control independiente. Aun así no son totalmente independientes entre ellas debido a los flujos de cajas que las interconectan. La estación 1 suministra las cajas a las estaciones 2 y 3. A su vez la estación 3 es la que provee de nuevos palés a la estación 4. Un fallo en la primera estación que la detenga supondría una pausa en el resto de las estaciones si se alarga suficientemente en el tiempo. A su vez si fallan las otras estaciones podría ser necesario detener la primera estación. Esto es debido a que en caso de que sigan llegando cajas que deban pasar por la estación en fallo no podrían continuar y bloquearían la línea en la primera estación.

Ante un fallo en la parte de las cajas medianas o cajas pequeñas, lo más recomendable sería continuar con el resto de la línea en funcionamiento mientras se separan manualmente el tipo de cajas afectado. Esta acumulación de cajas en espera podría procesarse totalmente de manera manual o introducirse progresivamente una vez la incidencia haya sido resuelta. El procesamiento y posible paletizado de las cajas grandes se realiza fuera de la línea de producción automatizada, siendo esta solo responsable de su separación. Otra alternativa sería la parada de la primera estación, con la consiguiente acumulación de cajas variadas. Esta situación se daría en caso de que la clasificación manual no fuera posible antes de la estación, ya sea de forma temporal o total.

A continuación, se va a explicar cómo controlar y gestionar cada una de las estaciones que conforman la parte automatizada.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 1 Estación 1

La interfaz de control de la primera estación cuenta con 3 pulsadores, 4 pilotos complementando la seta e indicador luminoso de emergencia. Su disposición y apariencia se pueden observar en la siguiente imagen:



### *Arranque*

El arranque consiste en pasar del estado en reposo al funcionamiento normal. Cuando se le da corriente al controlador se ilumina el piloto azul que indica el estado de reposo. No debe haber ninguna caja dentro de la estación para evitar fallos. Una vez esto se haya comprobado pulsando el pulsador verde se arranca la estación y se ilumina el piloto que se encuentra integrado en el propio pulsador.

### *Parada controlada*

Durante el arranque es posible detener el funcionamiento normal pulsando el pulsador rojo de parada. En ese momento se activa un proceso que para la estación lo antes posible sin que la clasificación de ninguna caja en curso se vea comprometida. Es decir, mientras el piloto rojo del pulsador esté activo algunas cajas pueden estar en movimiento debido a que estén llegando a una posición segura para la parada. Una vez todas las cajas están detenidas el sistema vuelve al reposo. Al volver a arrancar el sistema en funcionamiento normal el sistema procesa correctamente todas las cajas pendientes durante la parada controlada. No se deben modificar las cajas ni su posición mientras el sistema esté en reposo.

### *Parada emergencia y rearme*

En caso de emergencia todas las cintas se detienen y los brazos se quedan en la posición. Para rearmar el sistema es necesario quitar todas las cajas de la estación. Al rearmar los brazos desviadores vuelven a su posición de reposo junto con el resto de la estación.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 2 Estación 2

La interfaz de control de la segunda estación cuenta con 3 pulsadores, 4 pilotos complementando la seta y el indicador luminoso de emergencia. Su disposición y apariencia es igual al de la primera estación, como se puede observar en la siguiente imagen:



### *Arranque*

En el estado de reposo el pórtico se encuentra en su origen de coordenadas. Al pulsar el pulsador de arranque se desactiva el led que indica el reposo, activándose el led verde. No debe haber ninguna caja dentro de la estación para evitar fallos al arrancar la estación. Una vez se arranca la estación el pórtico pasa a la posición de espera directamente, de la cual no se moverá hasta que no llegue la siguiente caja.

### *Parada controlada*

La parada controlada de la estación permite que se almacene la información del palé en curso para la reanudación de la estación. Esto permite continuar con la actividad de la estación sin tener la necesidad de retirar las cajas totalmente de la estación. También permite que, si el pórtico está sujetando una caja durante la parada, este pueda finalizar su operación de colocación en el palé antes de parar la actividad. Sin esta funcionalidad es necesario la intervención manual para retirar la caja del pórtico como pasa en la parada de emergencia. Durante la maniobra de parada el piloto rojo permanecerá activo, pasando la estación posteriormente al estado de reposo.

### *Parada emergencia y rearme*

En la parada de emergencia se detiene completamente el pórtico y se mantiene la absorción de la caja en el extremo si ya estaba activa. El propósito es evitar cualquier movimiento tanto del pórtico como de las cajas que se encuentran dentro de la estación. Al existir la posibilidad de quedarse una caja suspendida en el pórtico es necesario un rearme en 2 pasos antes de

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

recuperar el estado de reposo normal. Una vez la emergencia se haya solucionado el piloto de rearme se ilumina. En este punto un operario debe acercarse a sujetar la caja que aún se encuentra en el extremo del pórtico. Una vez la caja esté asegurada se pulsará el pulsador de rearme pasando de la fase inicial a una segunda fase donde la caja deja de ser sujeta por el pórtico y puede ser retirada por el operario.

El pórtico seguirá sin moverse en esta etapa del rearme. Con ello se garantiza que el operario que retira la caja sujeta por el pórtico pueda hacerlo con seguridad. La estación permitirá el accionamiento del pulsador de rearme nuevamente después de como mínimo 6 segundos, evitando posibles rearmes accidentales. En esta etapa se retirarán también el resto de las cajas de la estación. Cuando todas las cajas y palés de la estación han sido retirados y el piloto de rearme vuelva a estar activo se puede pasar a la última fase del rearme. En ella es fundamental que los operarios hayan salido del alcance del pórtico. En esta última fase el pórtico vuelve a la posición de reposo siempre y cuando la seta de emergencia no haya vuelto a ser activada. Solamente se puede avanzar a la última fase del rearme sin la señal de emergencia no ha sido pulsada durante la fase anterior de rearme y sigue activa.

### 3 Estación 3

La interfaz de control de la tercera estación cuenta con 2 pulsadores, 3 pilotos complementando la seta y el indicador luminoso de emergencia. Se elimina un pulsador y piloto respecto a las anteriores debido a que esta estación no cuenta con parada controlada.



#### Arranque

El arranque de la estación se debe realizar sin palés dentro del elevador y sin ninguna caja dentro de la estación. También es importante remarcar que en el paso desde la posición de reposo a la de arranque solamente se produce el movimiento de las cintas. Por tanto, el elevador de palés se mantiene en su posición más baja mientras espera a la llegada de un palé vacío.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### *Parada emergencia y rearme*

Nuevamente, como en la segunda estación, debido a la peligrosidad del elevador de palé como parte móvil de gran tamaño el rearme tras una emergencia se realizará en 2 etapas. En la parada de emergencia todos los actuadores se quedarán bloqueados en la posición en la que se encontraban. Al pulsar el pulsador de rearme todos los actuadores se moverán a su posición de reposo. Esto incluye el descenso del ascensor del palé si se encuentra a otra altura. En caso de que el ascensor se tenga que desplazar para llegar a la posición bajo, cuando llegue abajo se esperará a que un operario quite el palé. Una vez quitado el palé será cuando se deba pulsar el pulsador de rearme del sistema, pasando al estado de reposo finalmente. Si el elevador ya se encuentra en la parte inferior se darán 3 segundos de margen de seguridad hasta poder activar el rearme nuevamente. Eliminar esta espera podría causar que el operario pulsase nuevamente el pulsador del rearme pensando que la primera activación no ha tenido efecto al no ver un movimiento en la máquina.

En caso de volver a pulsarse la emergencia en cualquier punto del proceso de rearme se volverá a la etapa previa al inicio del rearme. En ese caso se tendrán que repetir todos los pasos del rearme nuevamente. La parada de emergencia es la única forma de detener el funcionamiento de la estación, la cual siempre tendrá que arrancar sin palés ni cajas. El palé o cajas que estén en curso durante una parada de emergencia son retirados manualmente.

## **4 Estación 4**

La interfaz de control de la cuarta estación cuenta con 3 pulsadores, 4 pilotos complementando la seta e indicador luminoso de emergencia. El pulsador rojo añade un palé a la cola de salida del almacén y el piloto rojo indica que se necesita la salida de uno o más palés.



### *Arranque*

Una vez arrancado el PLC el sistema entra en reposo y considera que tiene 0 palés almacenados. Al pulsar el pulsador de arranque se comenzará a llenar el almacén desde el principio.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### *Sacar palés*

Por defecto todos los palés que llegan al almacén se introducen dentro de la siguiente estantería libre. Cada vez que se pulsa el pulsador de salida de palés se añade un palé a la cola de salida. La estación entonces pasa al modo de sacar palés, priorizando los palés que lleguen a la entrada y cogiendo los últimos palés introducidos hasta finalizar la cola de salidas. Cuando la cola de salidas está vacía tanto el piloto rojo se desactiva como se muestra que el número de palés saliendo es 0.



### *Parada emergencia y rearme*

La parada de emergencia detiene el carro transelevador inmediatamente. Si lleva un palé deberá ser retirado manualmente mientras que si está vacío se considera que ha dejado el palé anterior correctamente pese a la alarma. Esta decisión de diseño permite que después de una parada de emergencia se pueda reanudar el almacenamiento de palés por el punto correcto. Por tanto, no es necesario vaciar todas las estanterías tras una parada de emergencia. Si se quiere vaciar todas las estanterías sería necesario reiniciar manualmente la variable desde el PLC o reiniciándolo.

Simplemente con pulsar una vez el pulsador de rearme el sistema ya realizará de forma autónoma todos los movimientos necesarios para la vuelta del carro a la posición inicial. Estos movimientos deben evitar cualquier colisión del carro con la estructura de las estanterías, algo que sería muy peligroso. Es fundamental que el carro esté libre de palés o cajas antes de volver a arrancar la estación nuevamente.

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## ANEXO 2: Programas

En el presente anexo se va a exponer el código íntegro de todos los programas empleados para la elaboración de la solución. Por una parte, el desarrollo de la lógica se realiza íntegramente en Codesys V3.5 SP16 V5. El resto de código necesario para su simulación se encuentra en Factory I/O (versión 2.4.3) a través del servidor OPC con KEPServerEX 6.

### 1 Codesys

La estructura del programa permite diferenciar entre los programas, las variables globales y las tareas de ejecución. Cada programa está asignado a su propia tarea principal de ejecución (IEC-Tasks) con el objetivo de paralelizarlos.



La única biblioteca empleada durante la realización del proyecto es la Standard v. 3.5.15.0.

#### 1.1 Variables Globales (GVL)

```
1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL
3
4 //Sensores
5 //E1
6 e1s1: BOOL; //Fotocélula 1 de la estación 1
7 e1s2: BOOL; //Fotocélula 2 de la estación 1
8 e1s3: BOOL; //Fotocélula 3 de la estación 1
9 e1s4: BOOL; //Fotocélula 4 de la estación 1
10 e1s5: BOOL; //Fotocélula 5 de la estación 1
```

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

```
11     e1Vpeso: REAL; //Medición de la báscula
12     e1Altura: WORD; //Medición del sensor de altura
13
14     //E2
15     e2s1: BOOL; //Fotocélula 1 de la estación 2
16     e2s2: BOOL; //Fotocélula 2 de la estación 2
17     e2s3: BOOL; //Fotocélula 3 de la estación 2
18     e2CajaExtremo: BOOL; //Sensor presencia pórtico cajas medianas
19     e2MovimientoXY: BOOL; //Movimiento horizontal pórtico cajas med.
20     e2MovimientoZ: BOOL; //Movimiento vertical pórtico cajas medianas
21     e2PosX: REAL; //Posición en el eje X del pórtico de cajas med.
22     e2PosY: REAL; //Posición en el eje Y del pórtico de cajas med.
23     e2PosZ: REAL; //Posición en el eje Z del pórtico de cajas med.
24
25     //E3
26     e3s1: BOOL; //Fotocélula 1 de la estación 3
27     e3s2: BOOL; //Fotocélula 2 de la estación 3
28     e3s3: BOOL; //Fotocélula 3 de la estación 3
29     e3sp1: BOOL; //Fotocélula 1 máquina paletizadora cajas pequeñas
30     e3sp2: BOOL; //Fotocélula 2 máquina paletizadora cajas pequeñas
31     e3empujarfin: BOOL; //Empujador en una de 2 posiciones extremas
32     e3bandejafin: BOOL; //Plataforma en una de 2 posiciones extremas
33     e3asc_mov: BOOL; //Ascensor de palés en movimiento
34     e3junto : BOOL; //Pistones que juntan cajas están extendidos
35
36     //E4
37     e4s1: BOOL; //Fotocélula 1 de la estación 4
38     e4s2: BOOL; //Fotocélula 2 de la estación 4
39     e4s3: BOOL; //Fotocélula 3 de la estación 4
40     e4s4: BOOL; //Fotocélula 4 de la estación 4
41     e4s5: BOOL; //Fotocélula 5 de la estación 4
42     e4Lder: BOOL; //Palas portapalés del carro en posición derecha
43     e4Lizq: BOOL; //Palas portapalés del carro en posición izquierda
44     e4Lmed: BOOL; //Palas portapalés del carro en posición central
45     e4movx: BOOL; //Carro moviéndose en horizontal
46     e4movz: BOOL; //Carro moviéndose en vertical
47
48
49     //Actuadores
50     //E1
51     e1c1: BOOL; //Cinta 1 de la estación 1
52     e1c2: BOOL; //Cinta 2 de la estación 1
53     e1c3: BOOL; //Cinta 3 de la estación 1
54     e1c4: BOOL; //Cinta 4 de la estación 1
55     e1b1: BOOL; //Brazo desviador 1
56     e1cb1: BOOL; //Cinta del brazo desviador 1
57     e1b2: BOOL; //Brazo desviador 2
58     e1cb2: BOOL; //Cinta del brazo desviador 2
59
60     //E2
61     e2c1: BOOL; //Cinta 1 de la estación 2
62     e2c2: BOOL; //Cinta 2 de la estación 2
63     e2c3: BOOL; //Cinta 3 de la estación 2
64     e2c4: BOOL; //Cinta 4 de la estación 2
```

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

```
65     e2CogerCaja: BOOL; //Absorción de la pinza pórtico cajas med.
66     e2ActX: REAL; //Referencia movimiento eje X pórtico cajas med.
67     e2ActY: REAL; //Referencia movimiento eje Y pórtico cajas med.
68     e2ActZ: REAL; //Referencia movimiento eje Z pórtico cajas med.
69
70     //E3
71     e3c1: BOOL; //Cinta 1 de la estación 3
72     e3c2: BOOL; //Cinta 2 de la estación 3
73     e3c3: BOOL; //Cinta 3 de la estación 3
74     e3c4: BOOL; //Cinta 4 de la estación 3
75     e3c5: BOOL; //Cinta 5 de la estación 3
76     e3giro: BOOL; //Actuador que gira las cajas pequeñas entrantes
77     e3juntar: BOOL; //Empujador que ajusta cajas a la posición final
78     e3asc_lim: BOOL; //Movimiento ascensor hasta posición extrema
79     e3asc_abajo: BOOL; //Orden para que el ascensor baje
80     e3asc_arriba: BOOL; //Orden para que el ascensor suba
81     e3bandeja: BOOL; //Apertura de la plataforma
82     e3empujar: BOOL; //Empujador desplaza cajas encima de plataforma
83
84     //E4
85     e4c1: BOOL; //Cinta 1 de la estación 4
86     e4c2: BOOL; //Cinta 2 de la estación 4
87     e4c3: BOOL; //Cinta 3 de la estación 4
88     e4c4: BOOL; //Cinta 4 de la estación 4
89     e4c5: BOOL; //Cinta 5 de la estación 4
90     e4r1: BOOL; //Parador de palés 1 de la estación 4
91     e4r2: BOOL; //Parador de palés 2 de la estación 4
92     e4r3: BOOL; //Parador de palés 3 de la estación 4
93     e4pos: WORD:=0; //Posición a la que se desplaza el carro
94     e4Mder: BOOL; //Posicionar palas del portapalés a la derecha
95     e4Mizq: BOOL; //Posicionar palas del portapalés a la izquierda
96     e4Marr: BOOL; //Elevar las palas del portapalés
97
98
99     //Controles
100    //E1
101    elp_on: BOOL; //Pulsador verde de encendido de la estación 1
102    elpl_on: BOOL; //Indicador luminoso verde de la estación 1
103    elp_off: BOOL; //Pulsador rojo de parada de la estación 1
104    elpl_off: BOOL; //Indicador luminoso rojo de la estación 1
105    elp_re: BOOL; //Pulsador amarillo de rearme de la estación 1
106    elpl_re: BOOL; //Indicador luminoso amarillo de la estación 1
107    elp_emergencia: BOOL; //Seta de emergencia de la estación 1
108    elpl_emergencia: BOOL; //Indicador luminoso de emergencia est. 1
109    ell_reposo: BOOL; //Indicador luminoso de reposo de la est. 1
110
111    //E2
112    e2CajasColocadas: WORD:=0; //
113    e2p_on: BOOL; //Pulsador verde de encendido de la estación 2
114    e2pl_on: BOOL; //Indicador luminoso verde de la estación 2
115    e2p_off: BOOL; //Pulsador rojo de parada de la estación 2
116    e2pl_off: BOOL; //Indicador luminoso rojo de la estación 2
117    e2p_re: BOOL; //Pulsador amarillo de rearme de la estación 2
118    e2pl_re: BOOL; //Indicador luminoso amarillo de la estación 2
```

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

```
119     e2p_emergencia: BOOL; //Seta de emergencia de la estación 2
120     e2pl_emergencia: BOOL; //Indicador luminoso de emergencia est. 2
121     e2l_reposo: BOOL; //Indicador luminoso de reposo estación 2
122
123     //E3
124     e3cajas: WORD:=0; //Cantidad de cajas en el palé en formación
125     e3p_on: BOOL; //Pulsador verde de encendido de la estación 3
126     e3pl_on: BOOL; //Indicador luminoso verde de la estación 3
127     e3p_re: BOOL; //Pulsador amarillo de rearme de la estación 3
128     e3pl_re: BOOL; //Indicador luminoso amarillo de la estación 3
129     e3p_emergencia: BOOL; //Seta de emergencia de la estación 3
130     e3pl_emergencia: BOOL; //Indicador luminoso emergencia est. 3
131     e3l_reposo: BOOL; //Indicador luminoso azul de reposo est. 3
132
133     //E4
134     e4saliendo: WORD:=0; //Palés con salida pendiente del almacén
135     e4almacen: WORD:=0; //Palés en almacenamiento
136     e4p_on: BOOL; //Pulsador verde de encendido de la estación 4
137     e4pl_on: BOOL; //Indicador luminoso verde de la estación 4
138     e4p_re: BOOL; //Pulsador amarillo de rearme de la estación 4
139     e4pl_re: BOOL; //Indicador luminoso amarillo de la estación 4
140     e4p_emergencia: BOOL; //Seta de emergencia de la estación 4
141     e4pl_emergencia: BOOL; //Indicador luminoso de emergencia est. 4
142     e4p_saca: BOOL; //Pulsador rojo para sacar palés de la est. 4
143     e4pl_saca: BOOL; //Piloto rojo de palés salientes estación 4
144     e4l_reposo: BOOL; //Indicador luminoso azul de reposo est. 4
145
146
147     //Internas (Solo empleadas dentro del programa)
148     //E1
149     ParadaE1: BOOL;
150     Emergencial: BOOL;
151
152     //E2
153     ParadaE2: BOOL;
154     Emergencia2: BOOL;
155     SumaCajasE2: BOOL;
156     ResetCajasE2: BOOL;
157     FinCajasE2: BOOL;
158
159     //E3
160     Emergencia3: BOOL;
161     SumaCajasE3: BOOL;
162     ResetCajasE3: BOOL;
163
164     //E4
165     Emergencia4: BOOL;
166     SumaSaleE4: BOOL;
167     RestaSaleE4: BOOL;
168     ResetSaleE4: BOOL;
169     SumaPalesE4: BOOL;
170     RestaPalesE4: BOOL;
171
172     END_VAR
```

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 1.2 Programa auxiliar

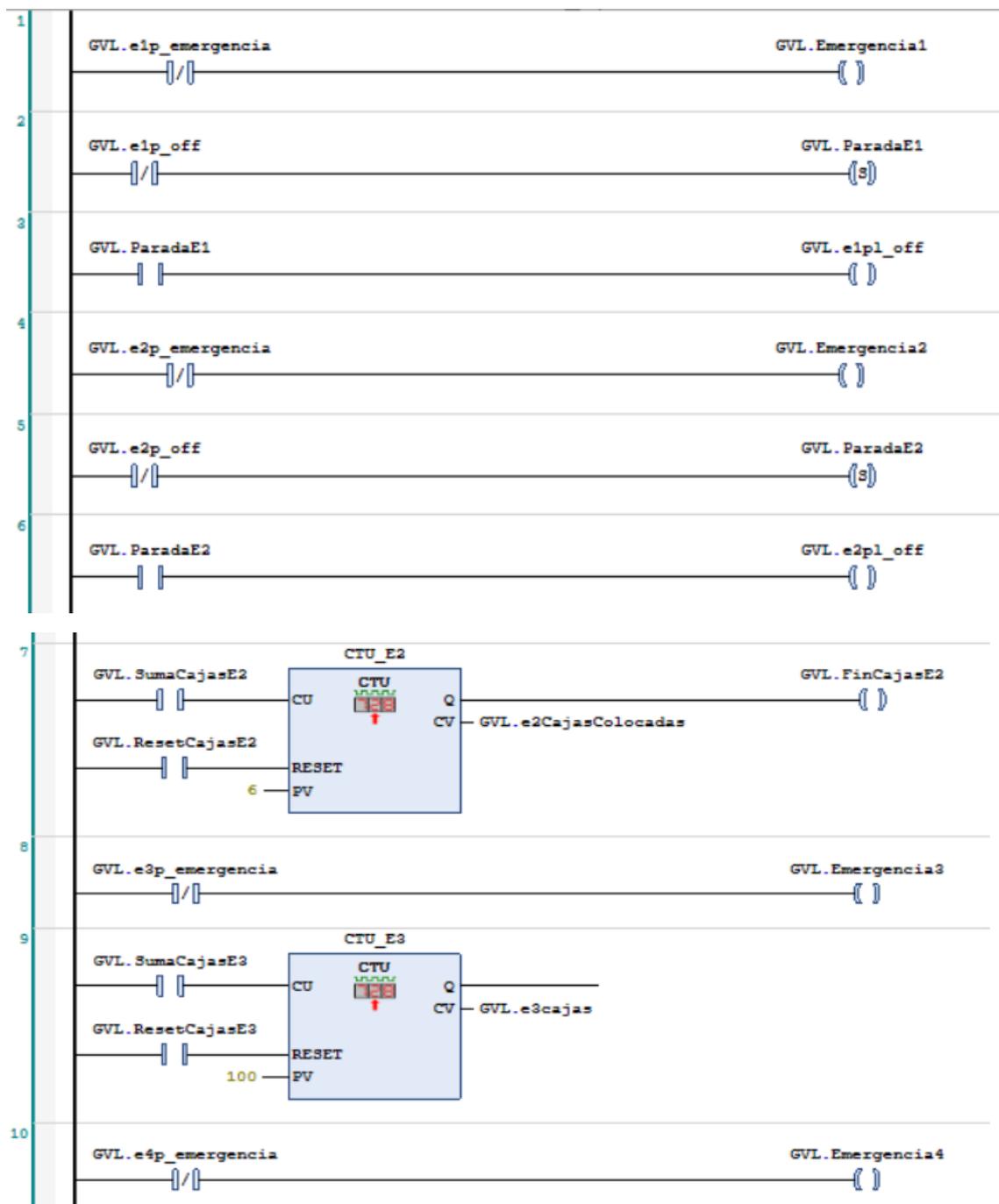
### 1.2.1 Variables internas

```

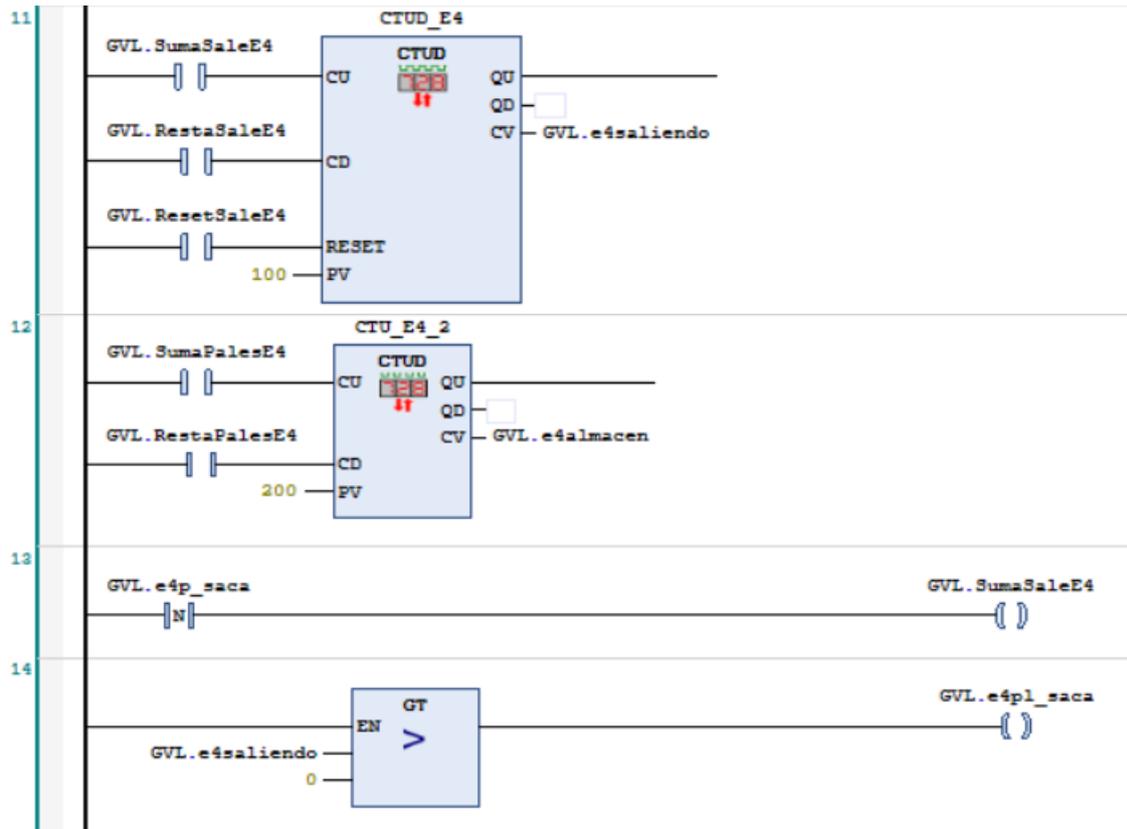
1   PROGRAM Auxiliares
2   VAR
3       CTU_E2: CTU;
4       CTU_E3: CTU;
5       CTUD_E4: CTUD;
6       CTU_E4_2: CTUD;
7   END_VAR

```

### 1.2.2 Programa principal



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



### 1.3 Programa estación 1

#### 1.3.1 Variables internas

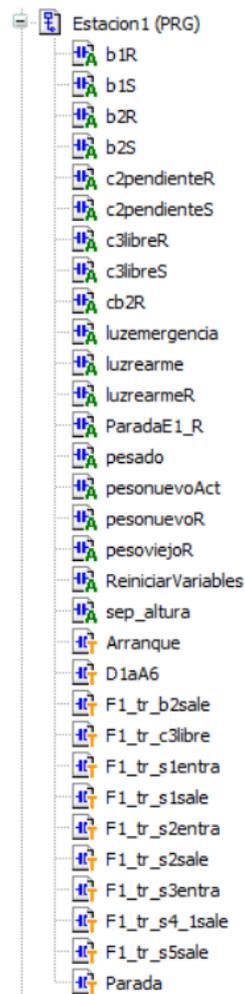
```

1  PROGRAM Estacion1
2  VAR
3
4      //Auxiliares
5      c2pendiente: BOOL:= FALSE;
6      c3libre: BOOL:= TRUE;
7      pesoviejo: BOOL:= FALSE;
8      pesonuevo: BOOL:= FALSE;
9      pesoref: REAL:= 3;
10     alturaref: WORD:=192;
11     tiempoaltura: TIME:=T#2S;
12
13     //Bloques LD
14     tiempo1: TIME;
15     TP_altura: TP;
16
17 END_VAR

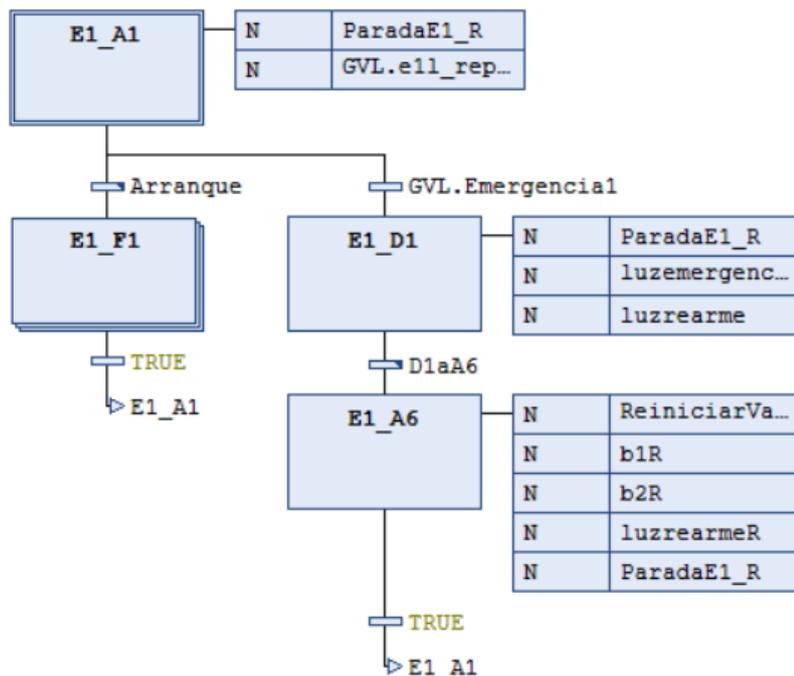
```

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 1.3.2 Árbol del programa con acciones y transiciones

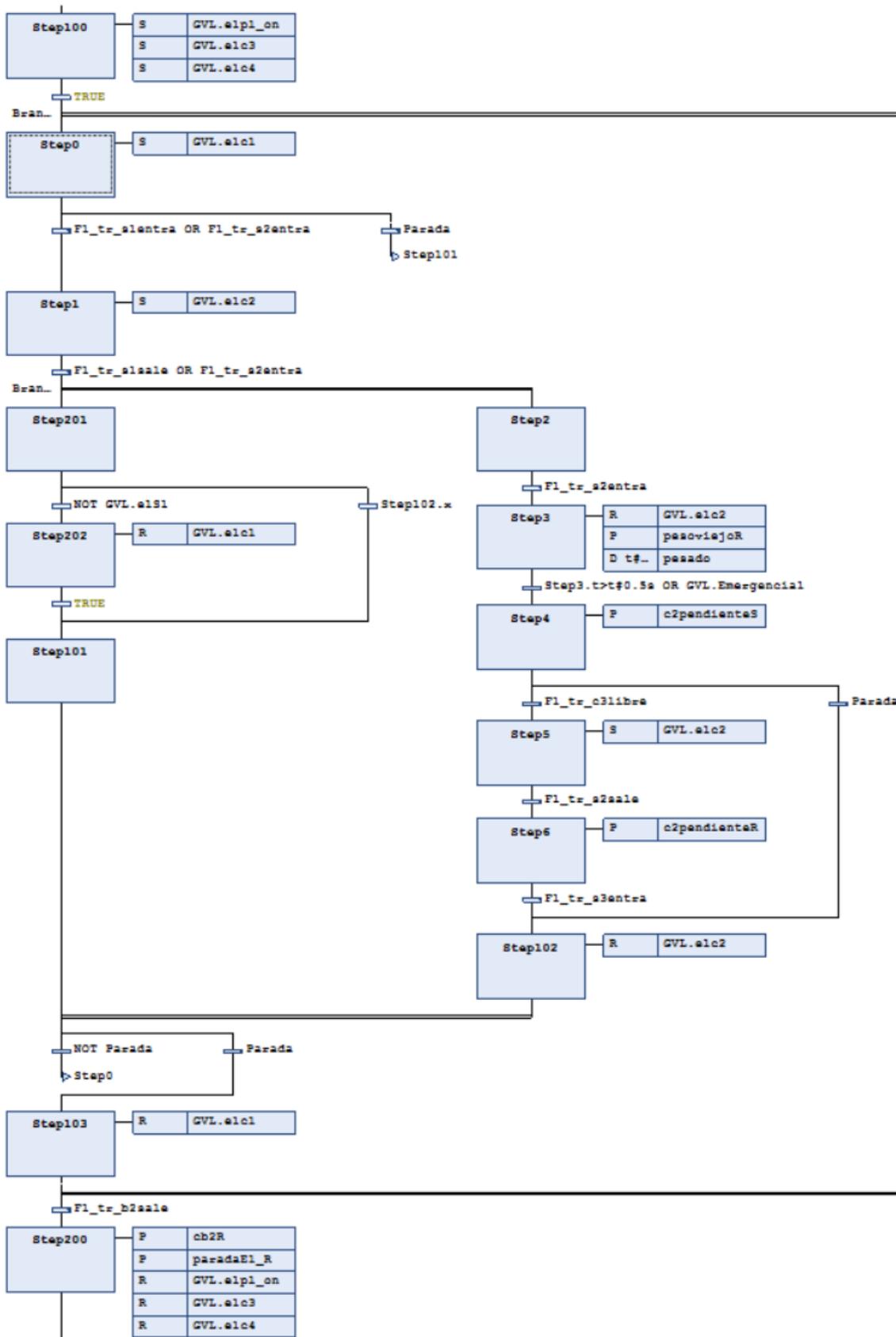


### 1.3.3 Programa principal



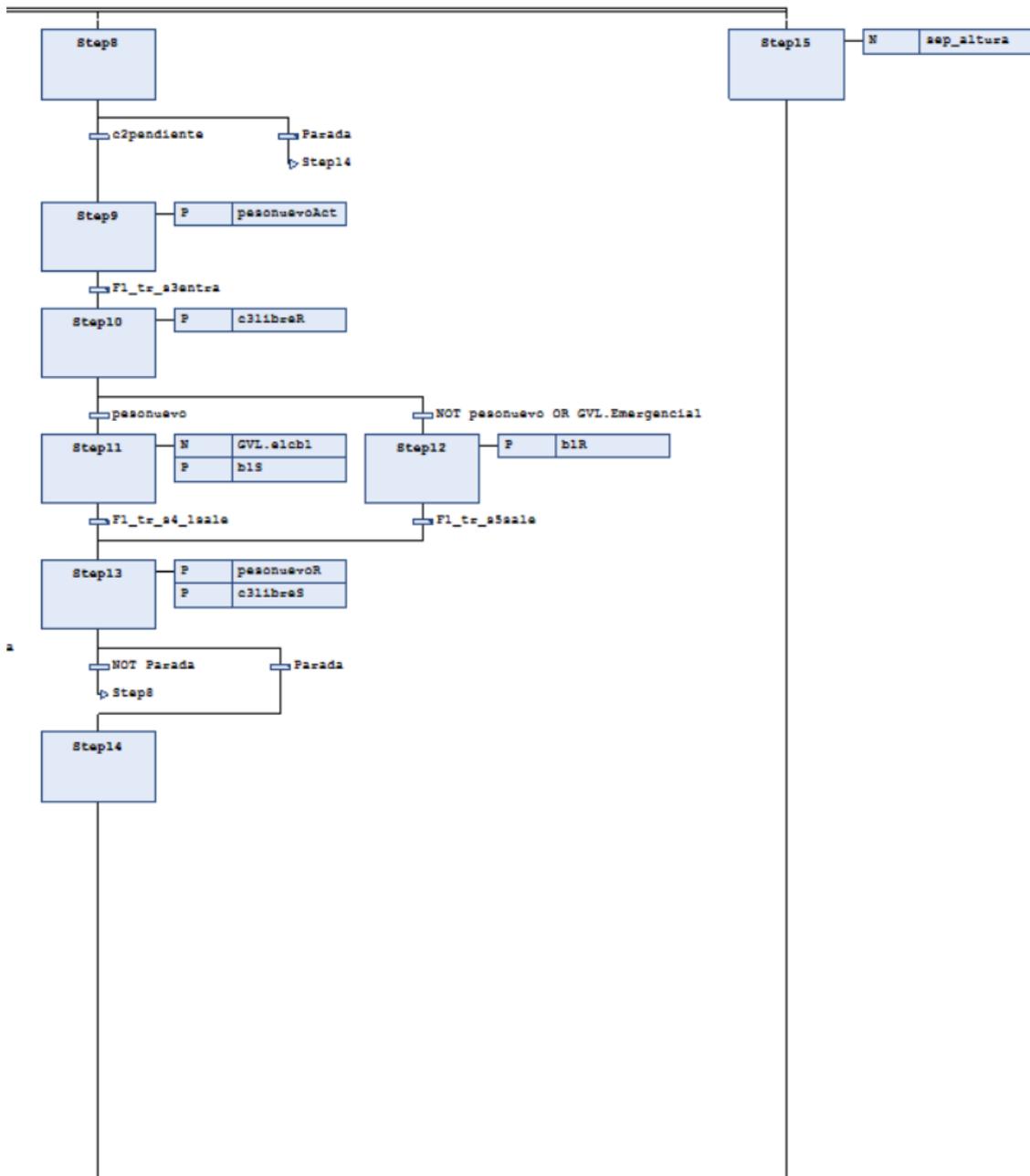
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Dentro del bloque macro que contiene el estado de funcionamiento normal (E1\_F1) de la primera estación, parte izquierda:



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Dentro del bloque macro que contiene el estado de funcionamiento normal (E1\_F1) de la primera estación, parte derecha:



### 1.3.4 Acciones

Una gran cantidad de acciones consisten en fijar a 0 (Reset ) o a 1 (Set) el valor de una variable. Por ejemplo, para el brazo 1 (b1) de la estación 1 hay 2 acciones con esta función. En la primera imagen se ve la acción para el Reset a 0 y en la segunda para el set a 1:



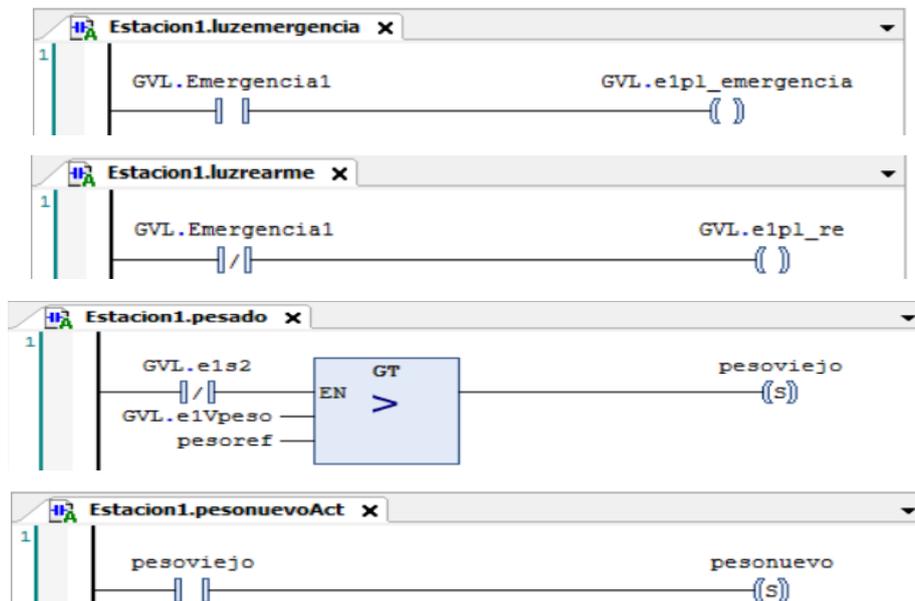
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



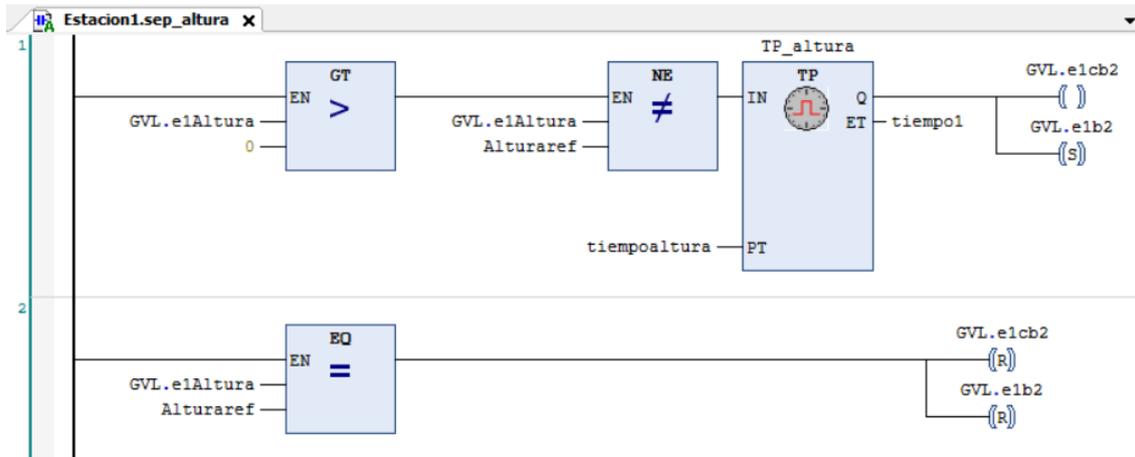
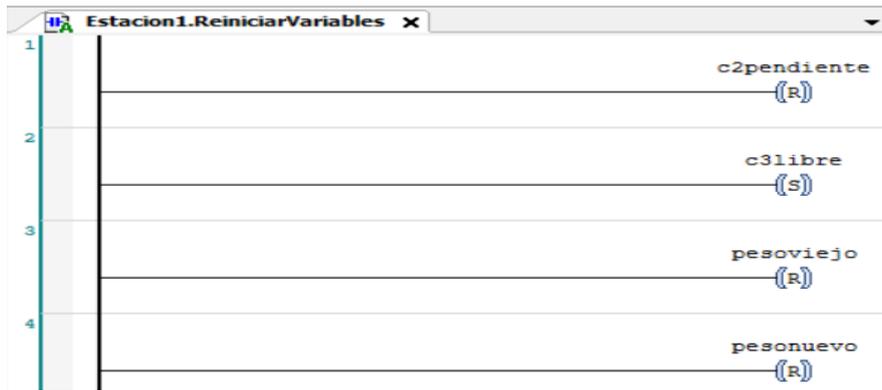
En la siguiente tabla se sintetizan este tipo de acciones presentes en esta estación:

Variable	Nombre acción RESET (0)	Nombre acción SET (1)
GVL.e1b2	Estacion1.b2R	Estacion1.b2S
c2pendiente	Estacion1.c2pendienteR	Estacion1.c2pendienteS
c3libre	Estacion1.c3libreR	Estacion1.c3libreS
GVL.e1cb2	Estacion1.cb2R	
GVL.e1pl_re	Estacion1.luzrearmeR	
GVL.ParadaE1	Estacion1.ParadaE1_R	
pesonuevo	Estacion1.pesonuevoR	
pesoviejo	Estacion1.pesoviejoR	

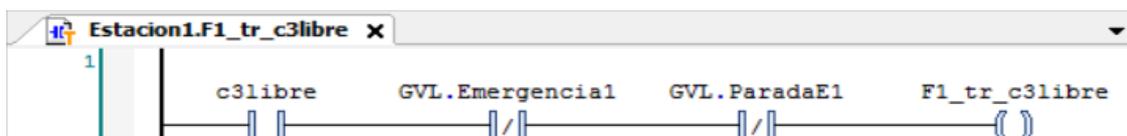
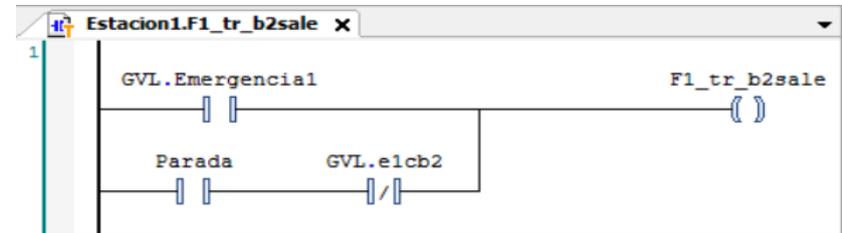
El resto de las acciones de la estación son las siguientes:



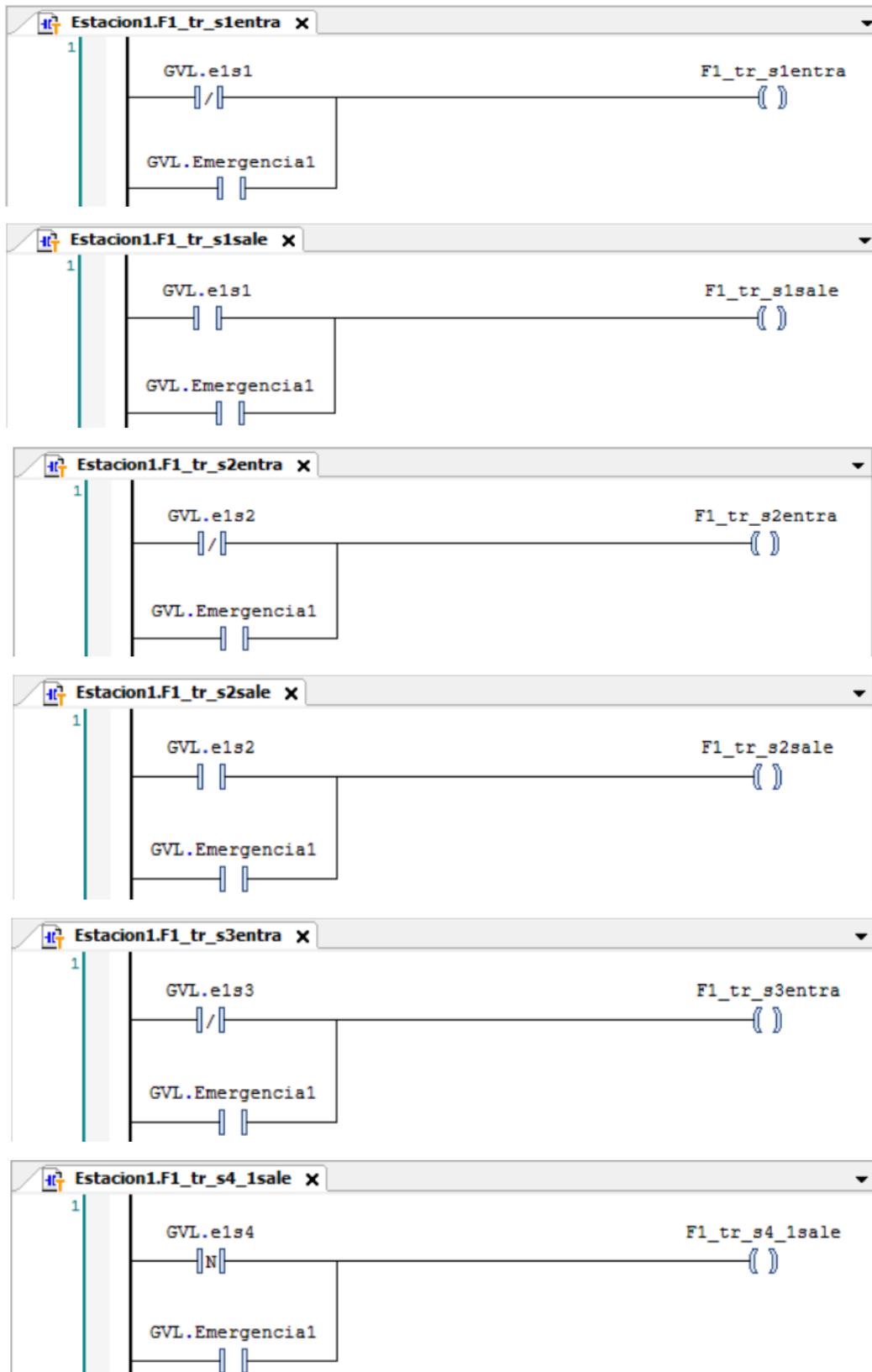
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



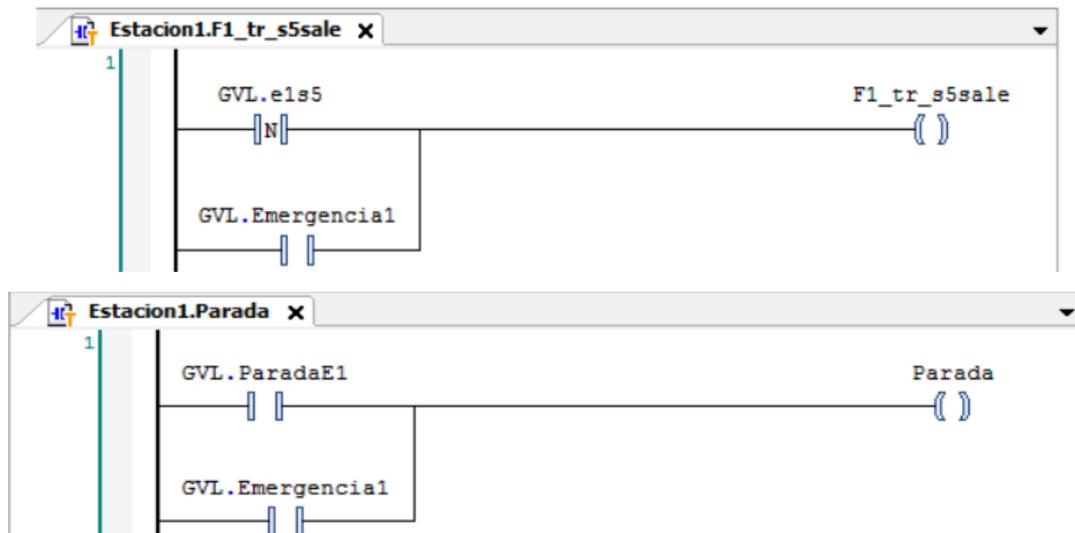
### 1.3.5 Transiciones



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

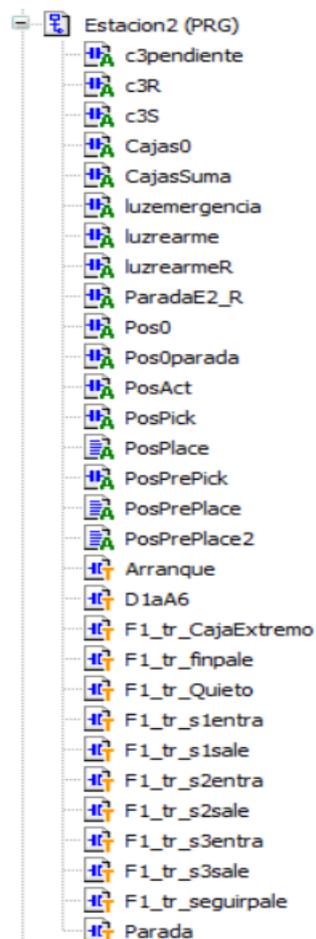


## 1.4 Programa estación 2

### 1.4.1 Variables internas

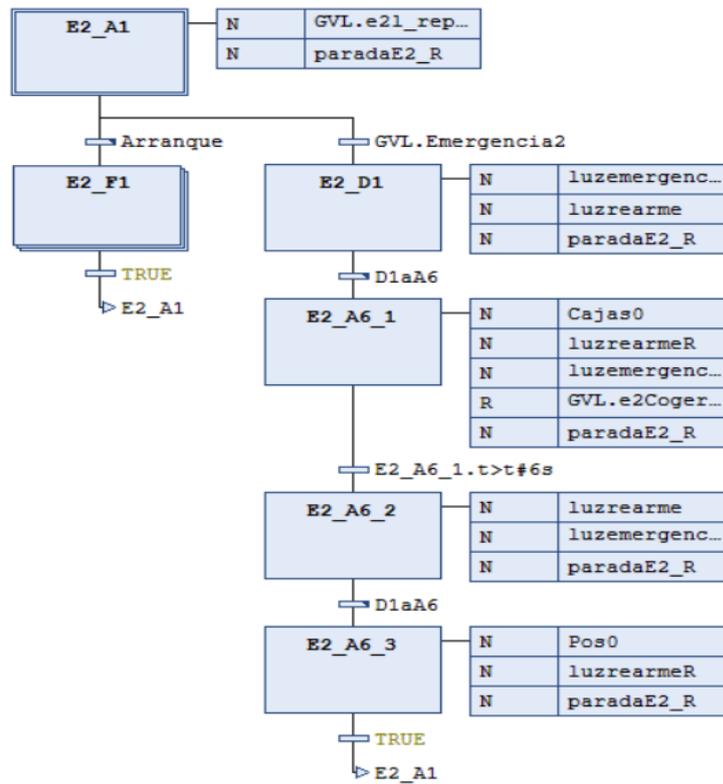
No emplea variables internas.

### 1.4.2 Árbol del programa con acciones y transiciones

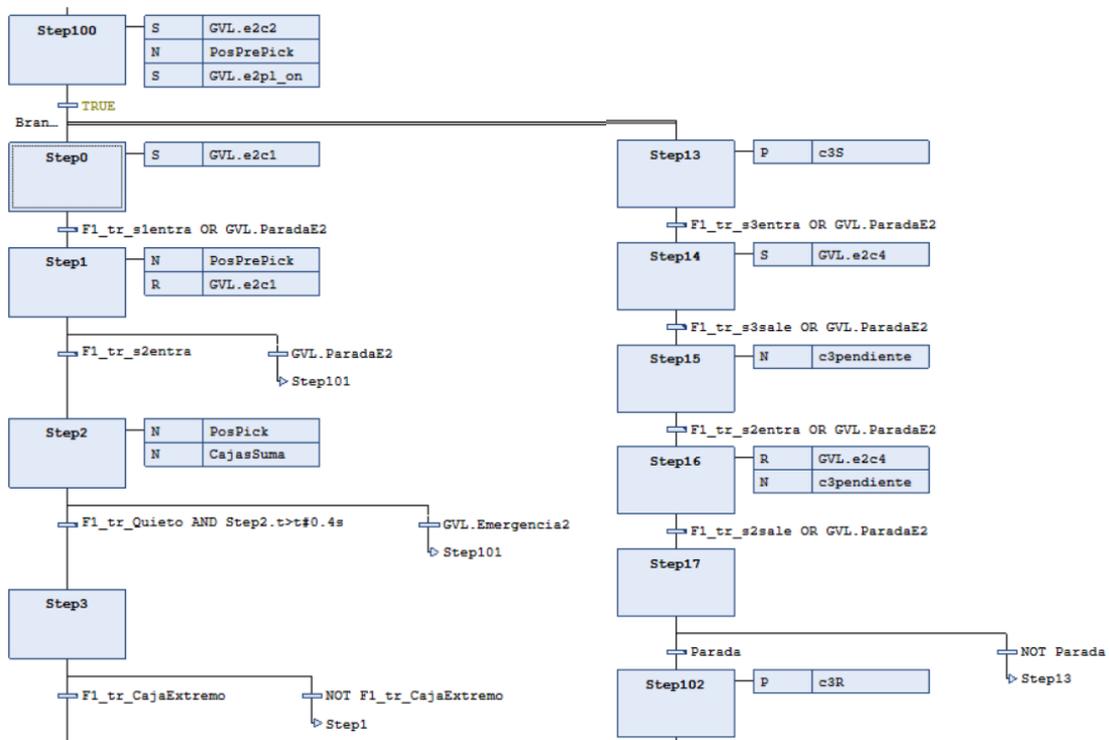


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

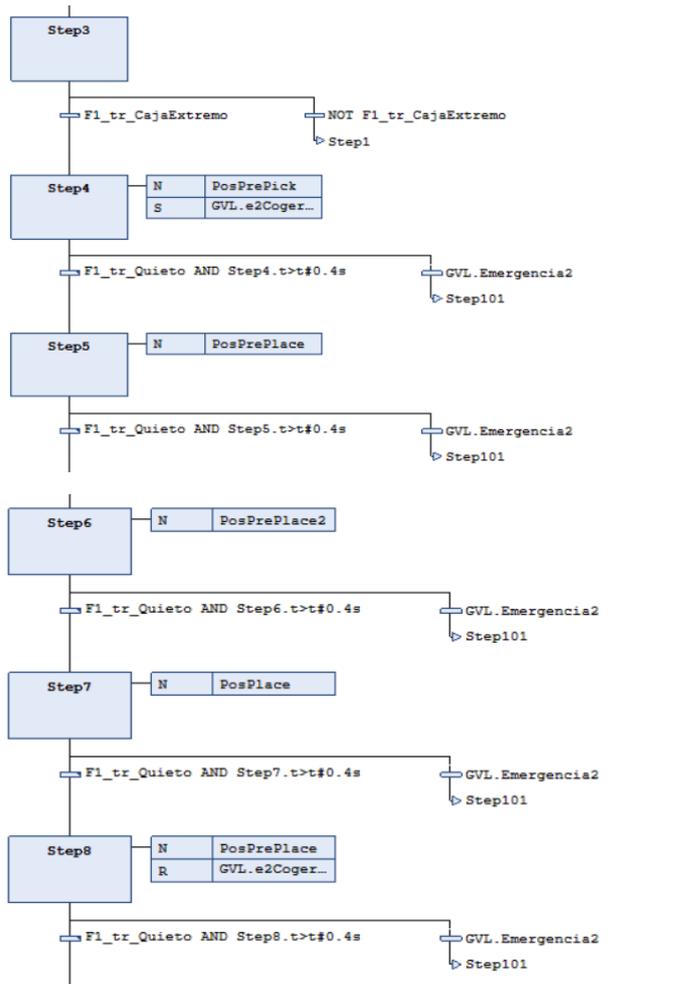
### 1.4.3 Programa principal



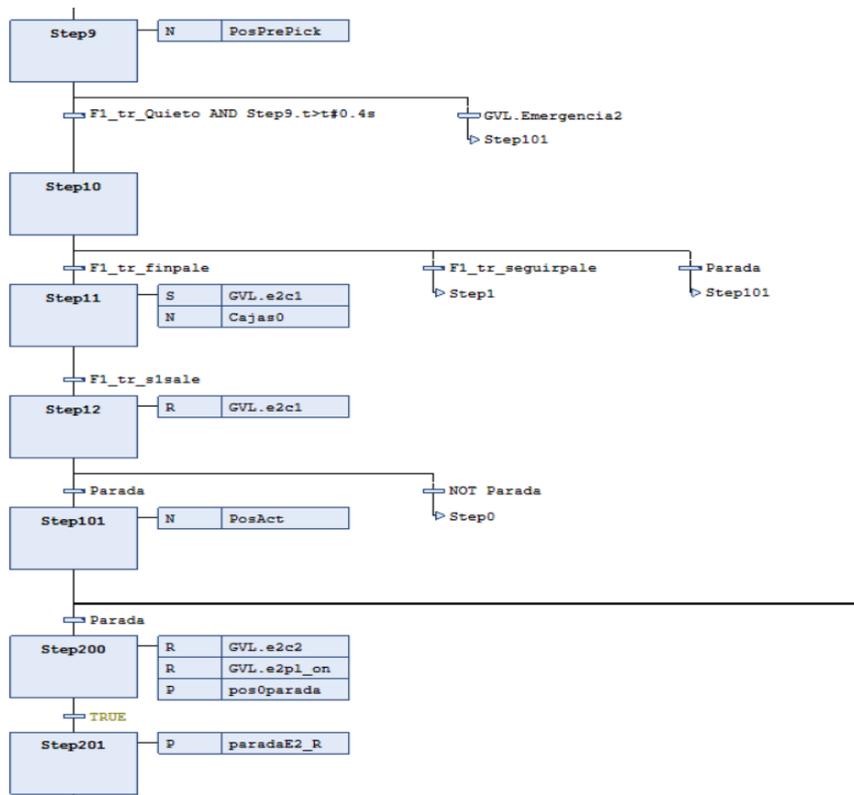
Dentro del bloque macro que contiene el estado de funcionamiento normal (E2\_F1) de la segunda estación, parte superior:



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

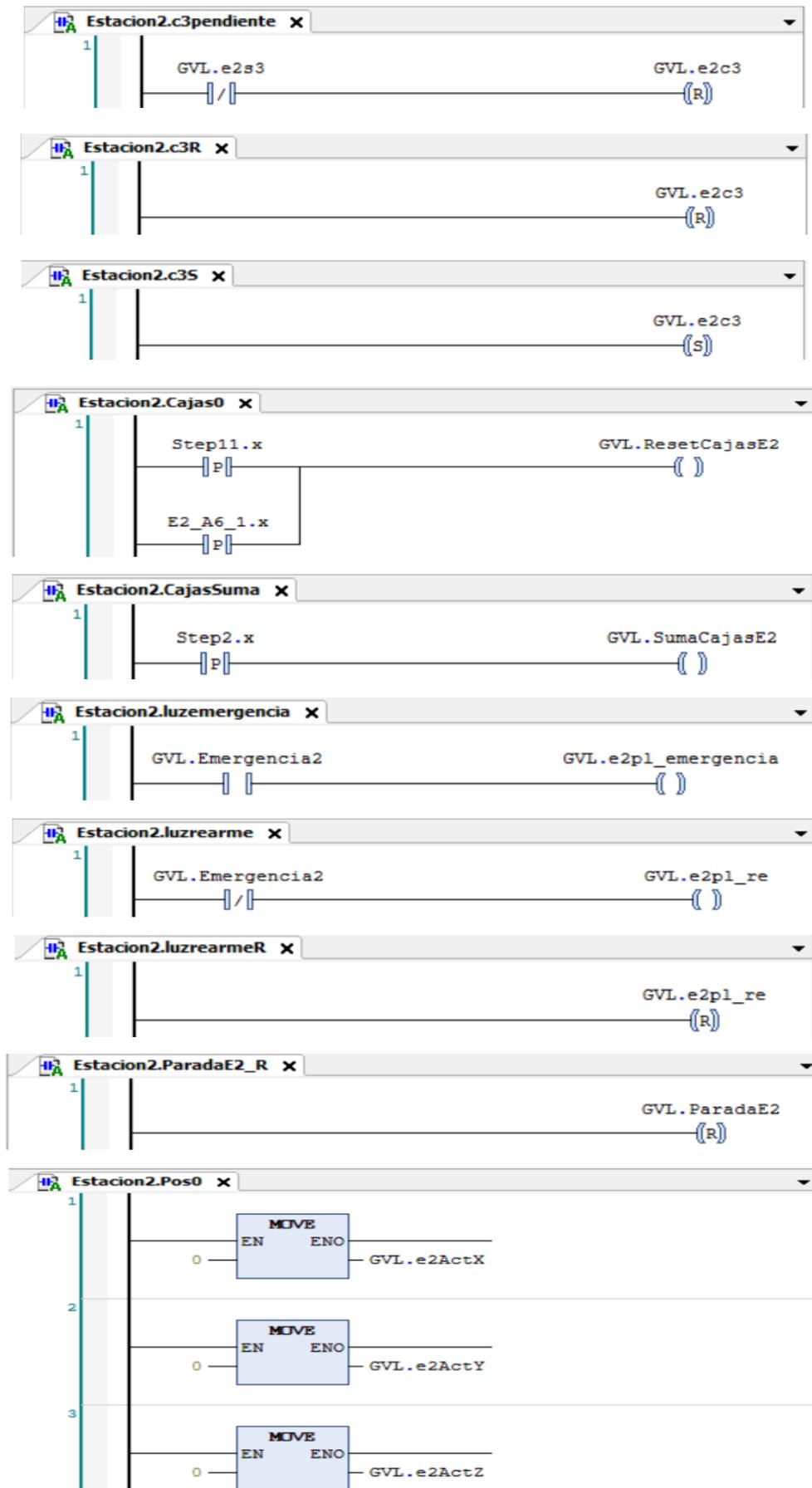


Parte inferior macro que contiene el estado de funcionamiento normal (E2\_F1):

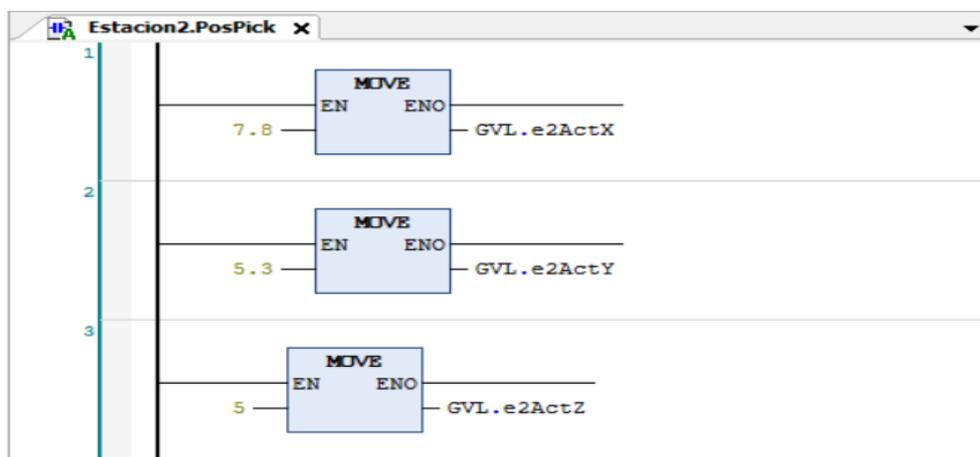
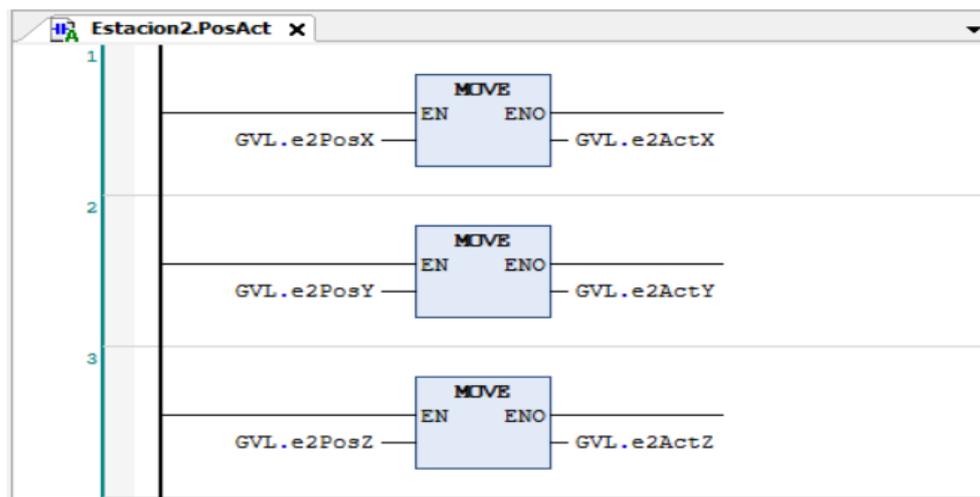
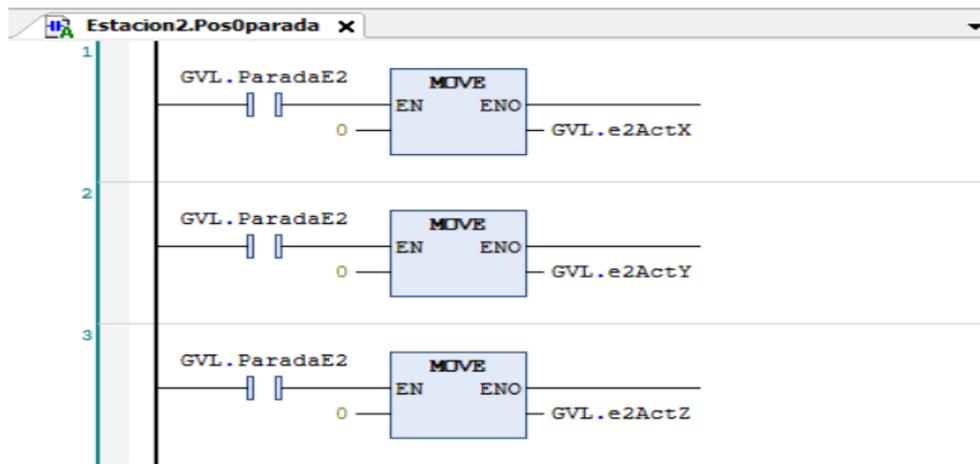


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

#### 1.4.4 Acciones



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

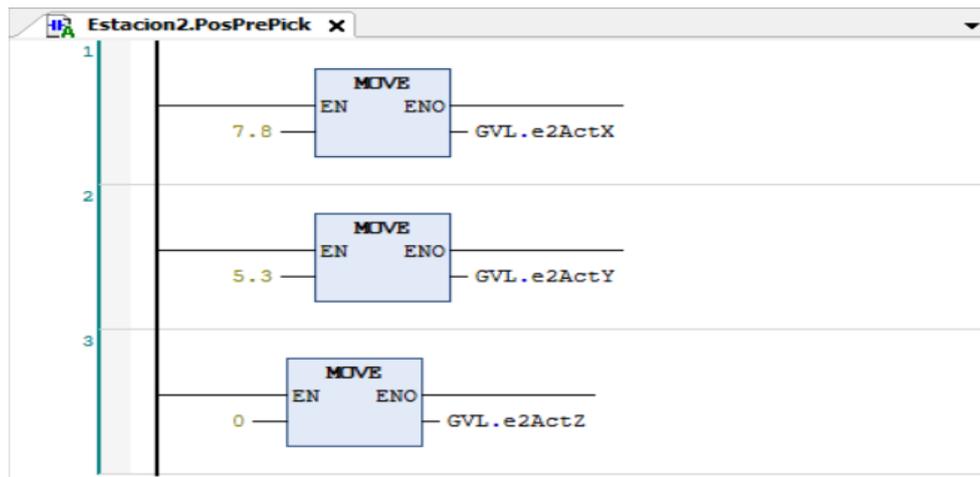


```

1  IF GVL.e2CajasColocadas = 5 OR GVL.e2CajasColocadas = 6
2  THEN
3      GVL.e2ActZ := 0.8;
4  ELSIF GVL.e2CajasColocadas = 3 OR GVL.e2CajasColocadas = 4
5  THEN
6      GVL.e2ActZ := 5.2;
7  ELSIF GVL.e2CajasColocadas = 1 OR GVL.e2CajasColocadas = 2
8  THEN
9      GVL.e2ActZ := 10;
10 END_IF;

```

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



```

1  IF GVL.e2CajasColocadas = 1 OR GVL.e2CajasColocadas = 3 OR GVL.e2CajasColocadas = 5
2  THEN
3      GVL.e2ActX := 6.8;
4      GVL.e2ActY := 3.6;
5      GVL.e2ActZ := 0;
6  ELSE
7      GVL.e2ActX := 6.8;
8      GVL.e2ActY := 6.7;
9      GVL.e2ActZ := 0;
10 END_IF;

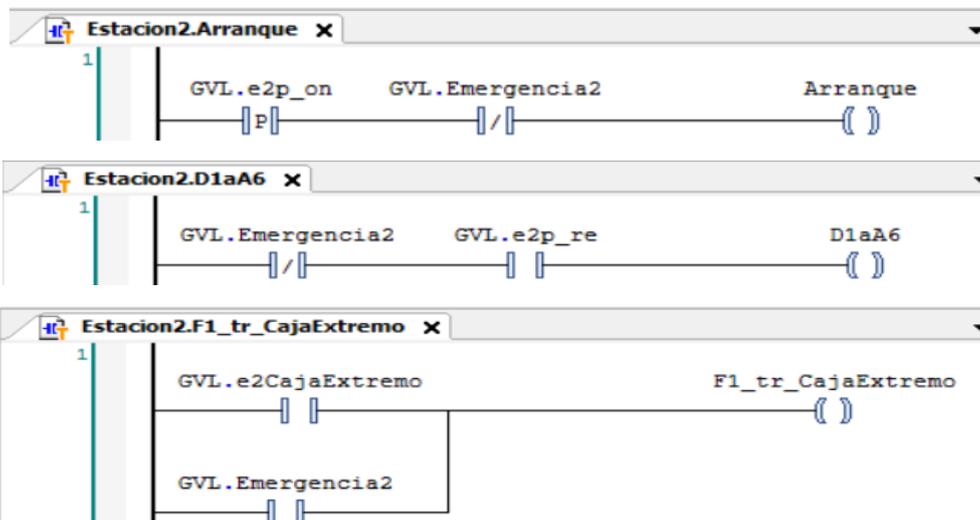
```

```

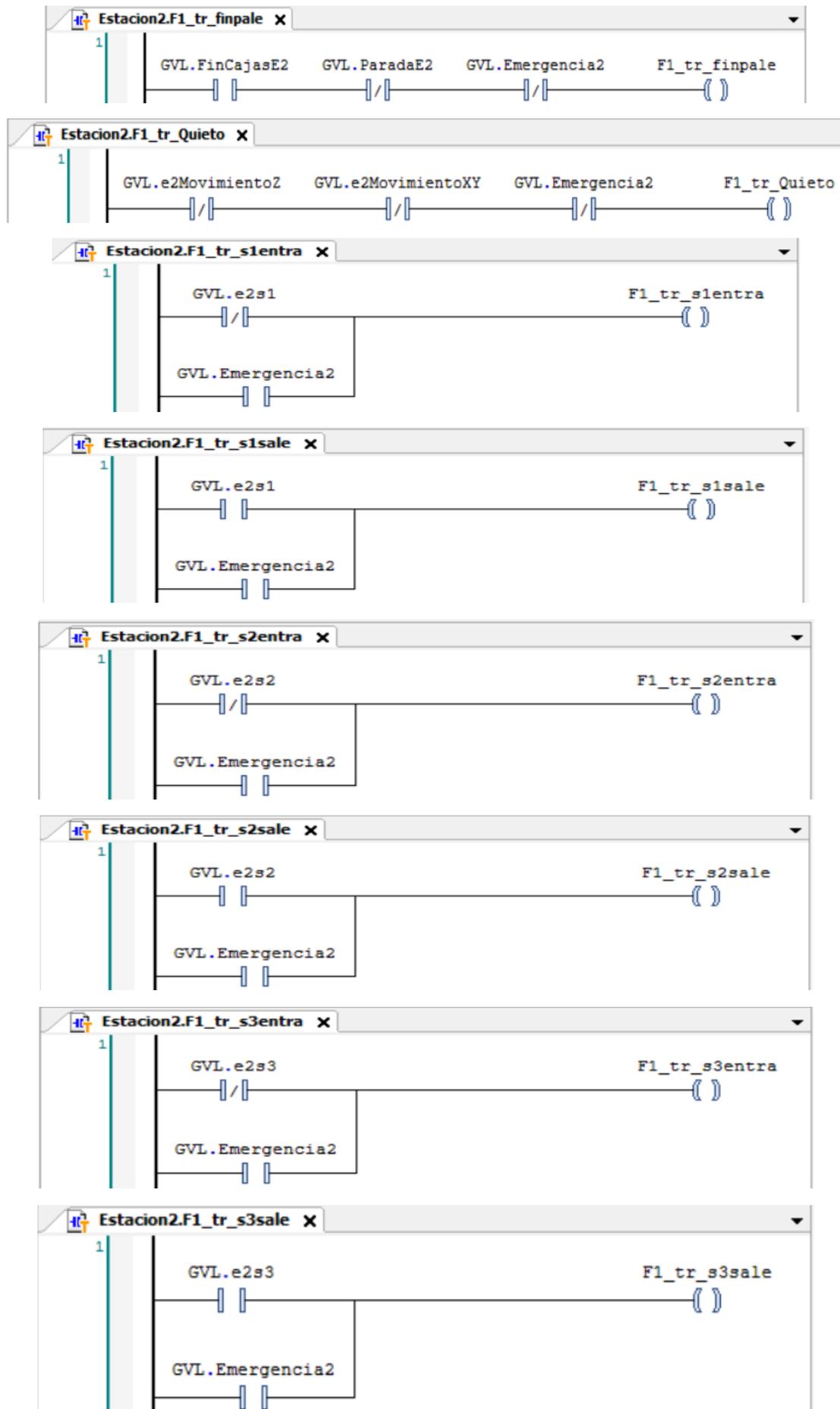
1  IF GVL.e2CajasColocadas = 1 OR GVL.e2CajasColocadas = 3 OR GVL.e2CajasColocadas = 5
2  THEN
3      GVL.e2ActX := 3.3;
4      GVL.e2ActY := 3.6;
5      GVL.e2ActZ := 0;
6  ELSE
7      GVL.e2ActX := 3.3;
8      GVL.e2ActY := 6.7;
9      GVL.e2ActZ := 0;
10 END_IF;

```

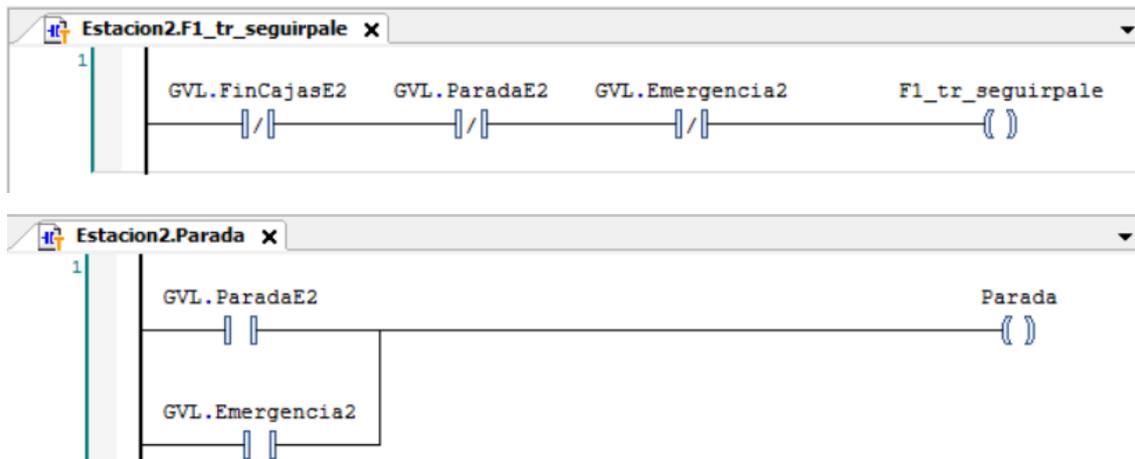
#### 1.4.5 Transiciones



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



## 1.5 Programa estación 3

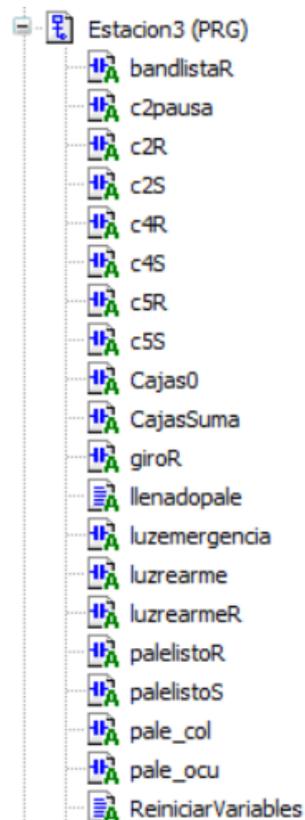
### 1.5.1 Variables internas

```

1  PROGRAM Estacion3
2  VAR
3
4      //Auxiliares
5      palelisto: BOOL:= FALSE;
6      bandlista: BOOL:= FALSE;
7      bandfin: WORD:= 2;
8
9  END_VAR

```

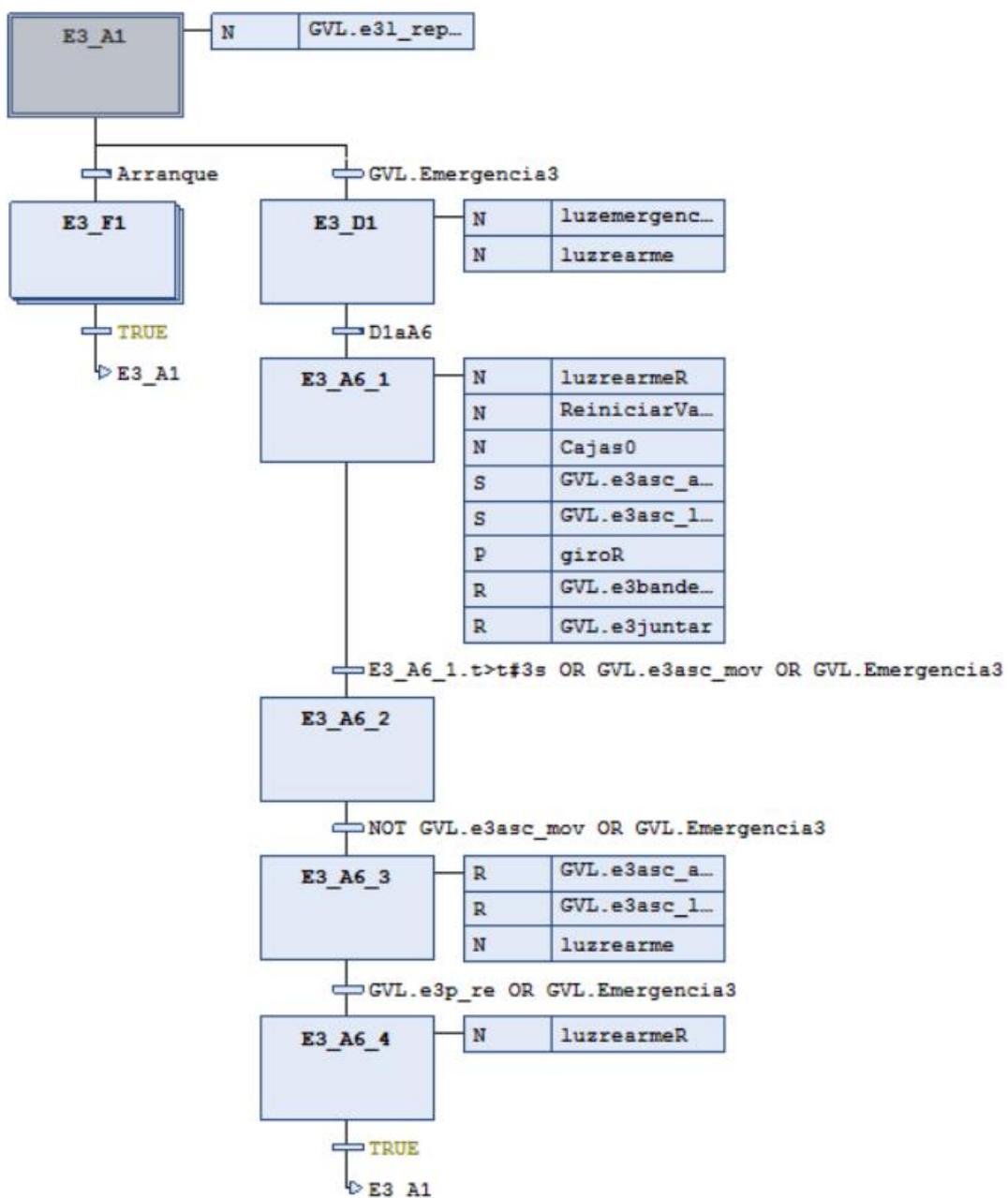
### 1.5.2 Árbol del programa con acciones y transiciones



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

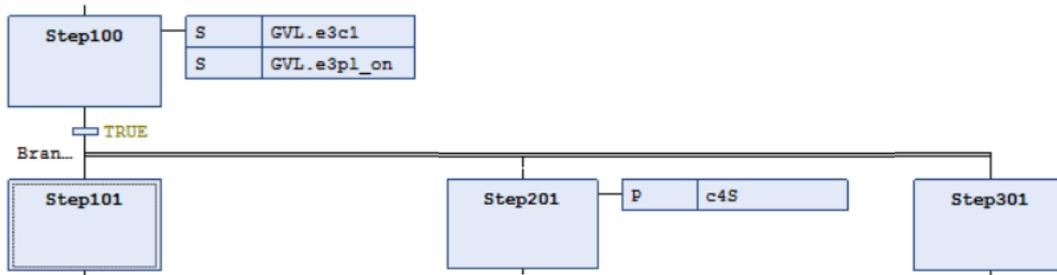
- Arranque
- D1aA6
- F1\_tr\_palelleno
- F1\_tr\_pale\_acab
- F1\_tr\_s1entra
- F1\_tr\_s1sale
- F1\_tr\_s2entra
- F1\_tr\_s2sale
- F1\_tr\_s3sale
- F1\_tr\_sp2entra

### 1.5.3 Programa principal

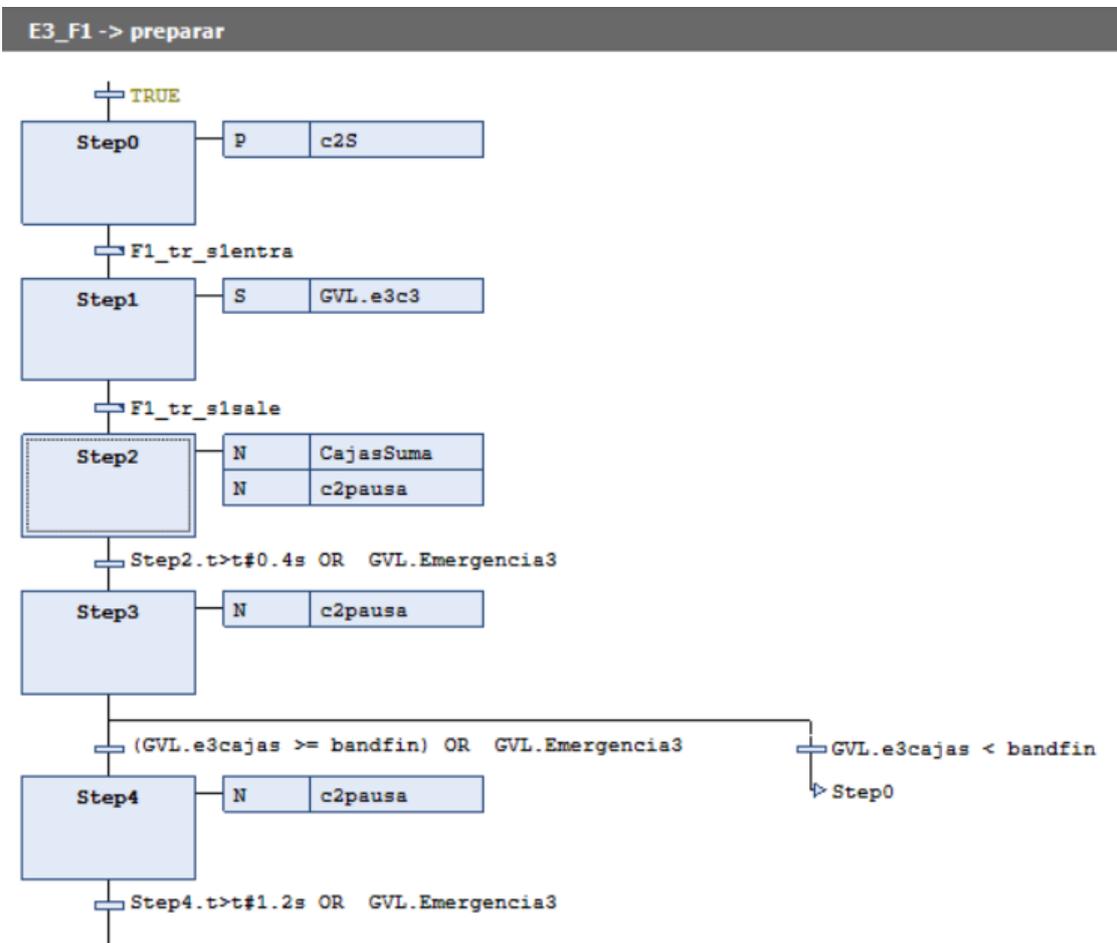


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Dentro del bloque macro que contiene el estado de funcionamiento normal (E3\_F1) de la tercera estación hay 3 ramas de ejecución simultáneas.

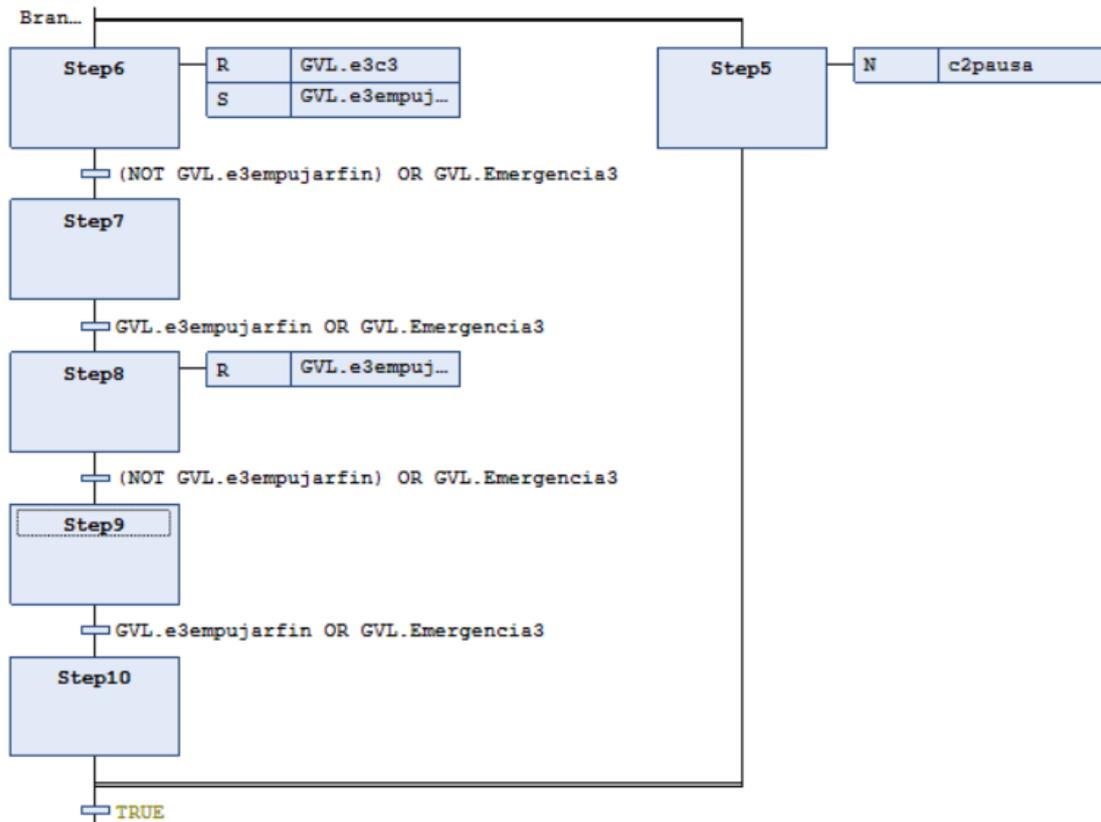


Empezando por la rama de la izquierda hay 2 macros llamados. El primero se denomina "preparar":

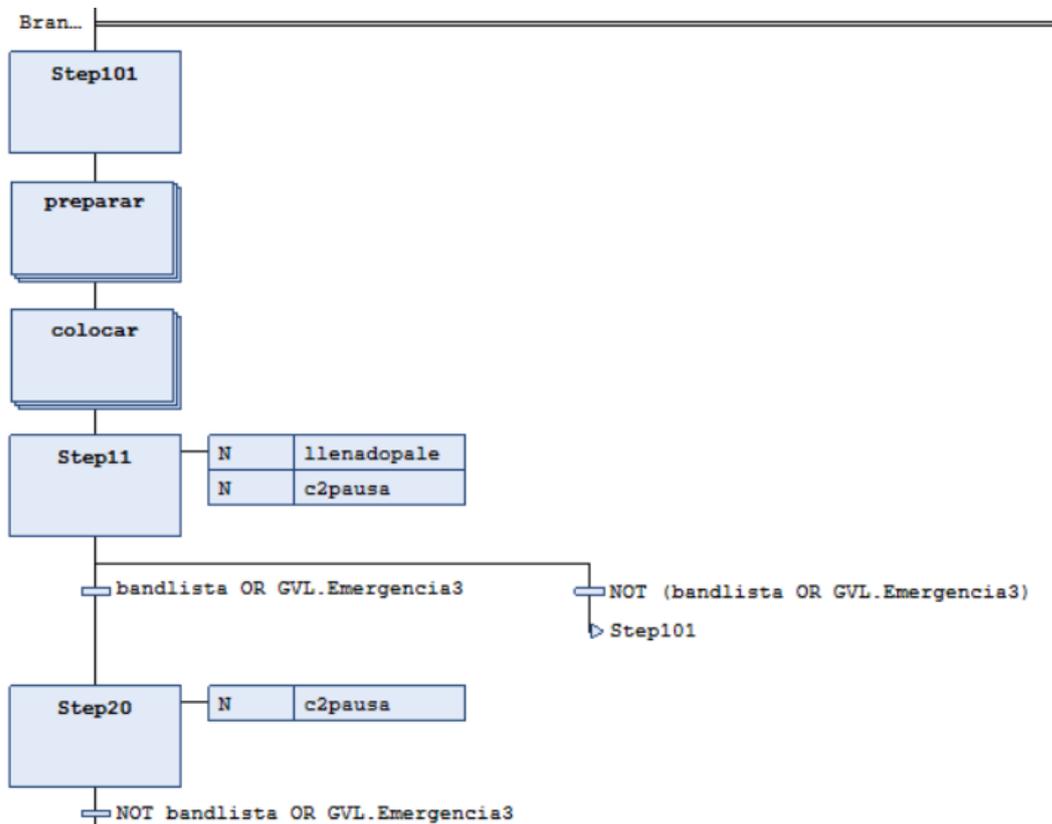


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

El segundo se llama “colocar”:

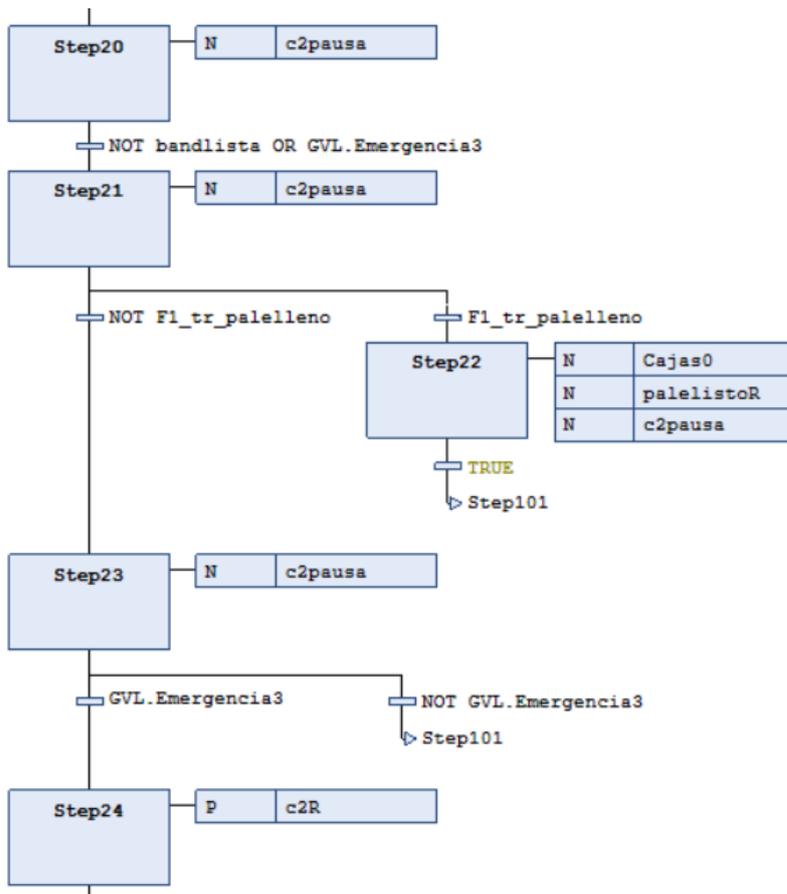


El principio de la primera rama de ejecución es el siguiente:

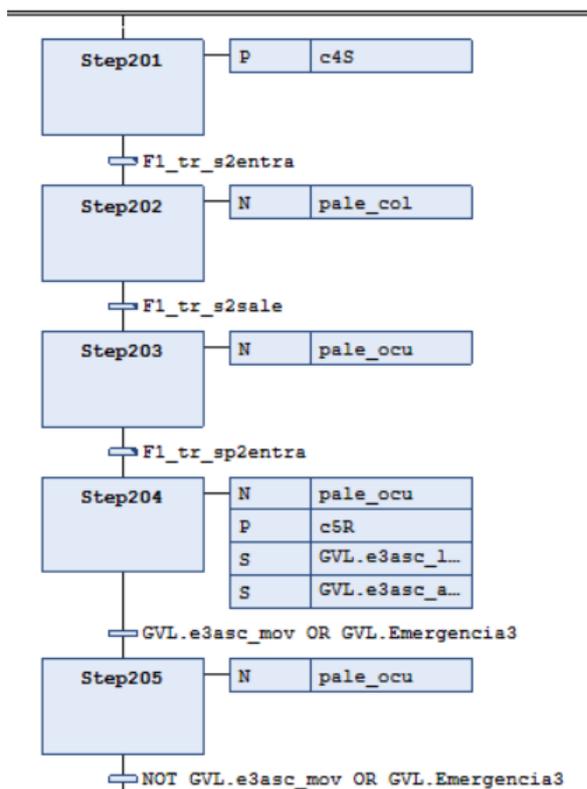


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

La segunda parte de la primera rama de ejecución:

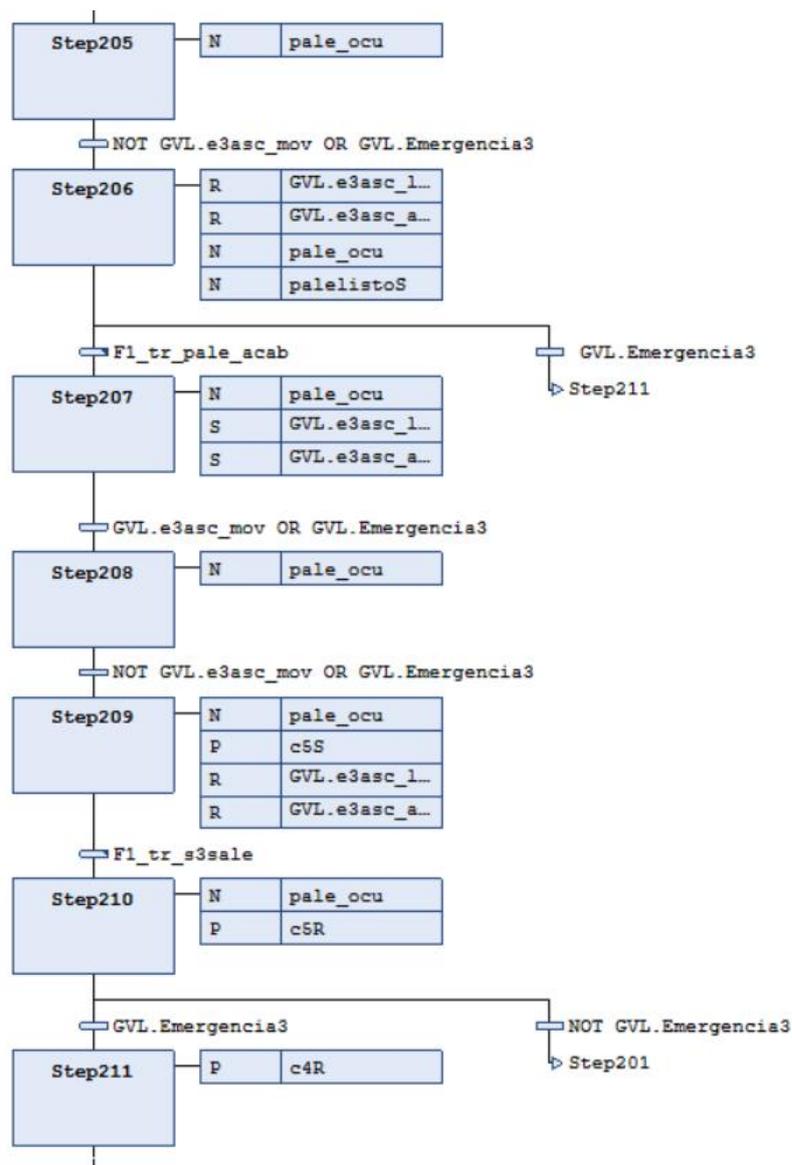


La primera parte de la segunda rama de ejecución es el siguiente:

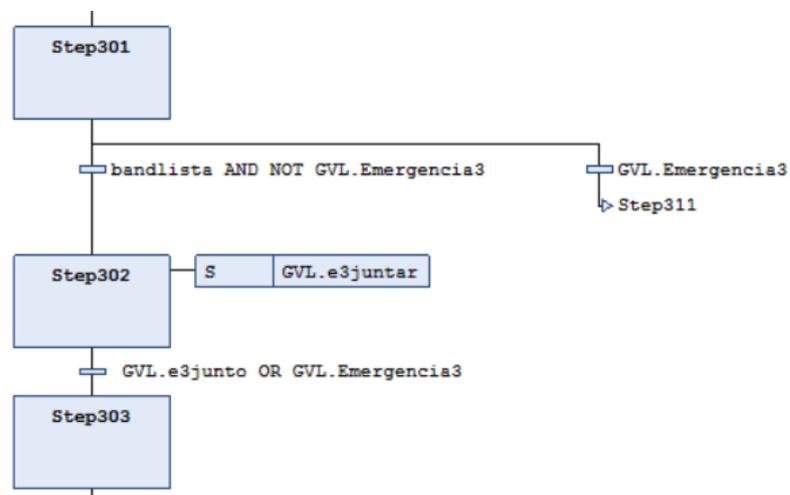


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

La segunda parte de la segunda rama de ejecución es el siguiente:

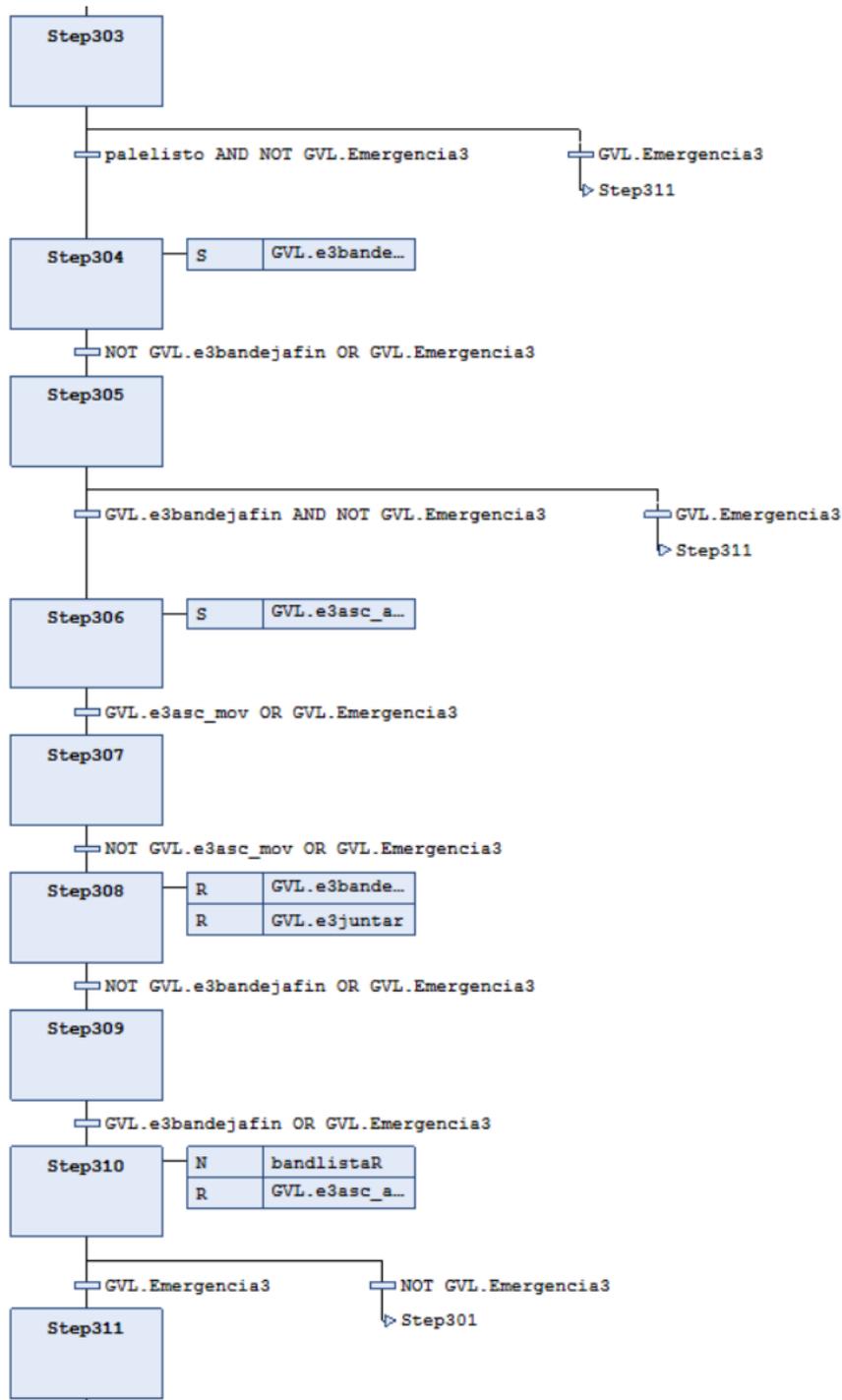


La primera parte de la tercera rama de ejecución es el siguiente:

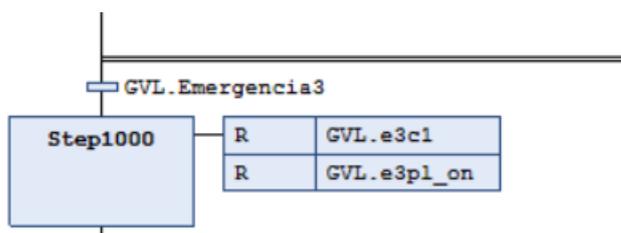


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

La segunda parte de la tercera rama de ejecución es el siguiente:



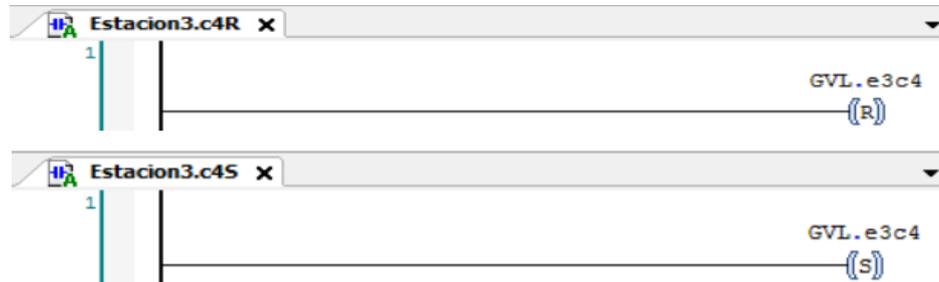
El final donde se juntan las 3 ramas de ejecución:



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

#### 1.5.4 Acciones

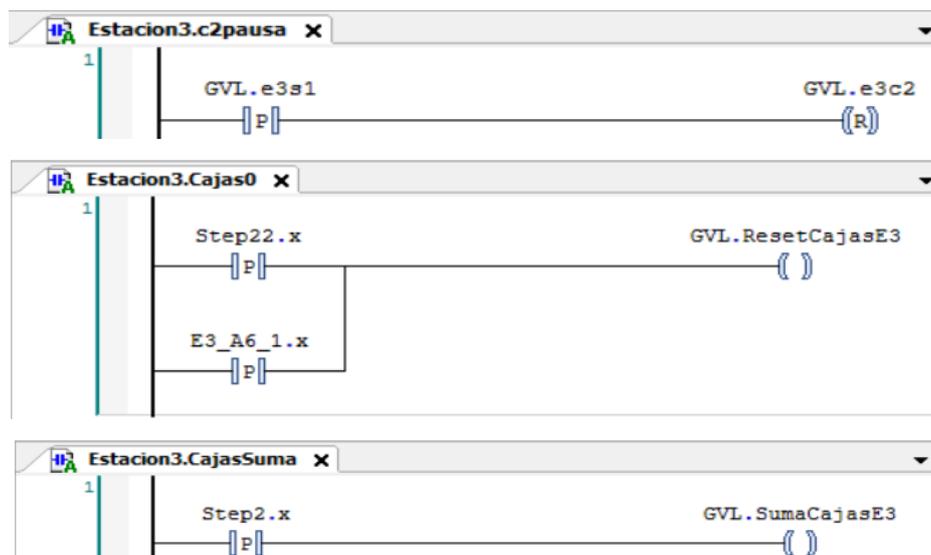
Una gran cantidad de acciones consisten en fijar a 0 (Reset ) o a 1 (Set) el valor de una variable. Por ejemplo, para la cinta 4 (c4) de la estación 3 hay 2 acciones con esta función. En la primera imagen se ve la acción para el Reset a 0 y en la segunda para el set a 1:



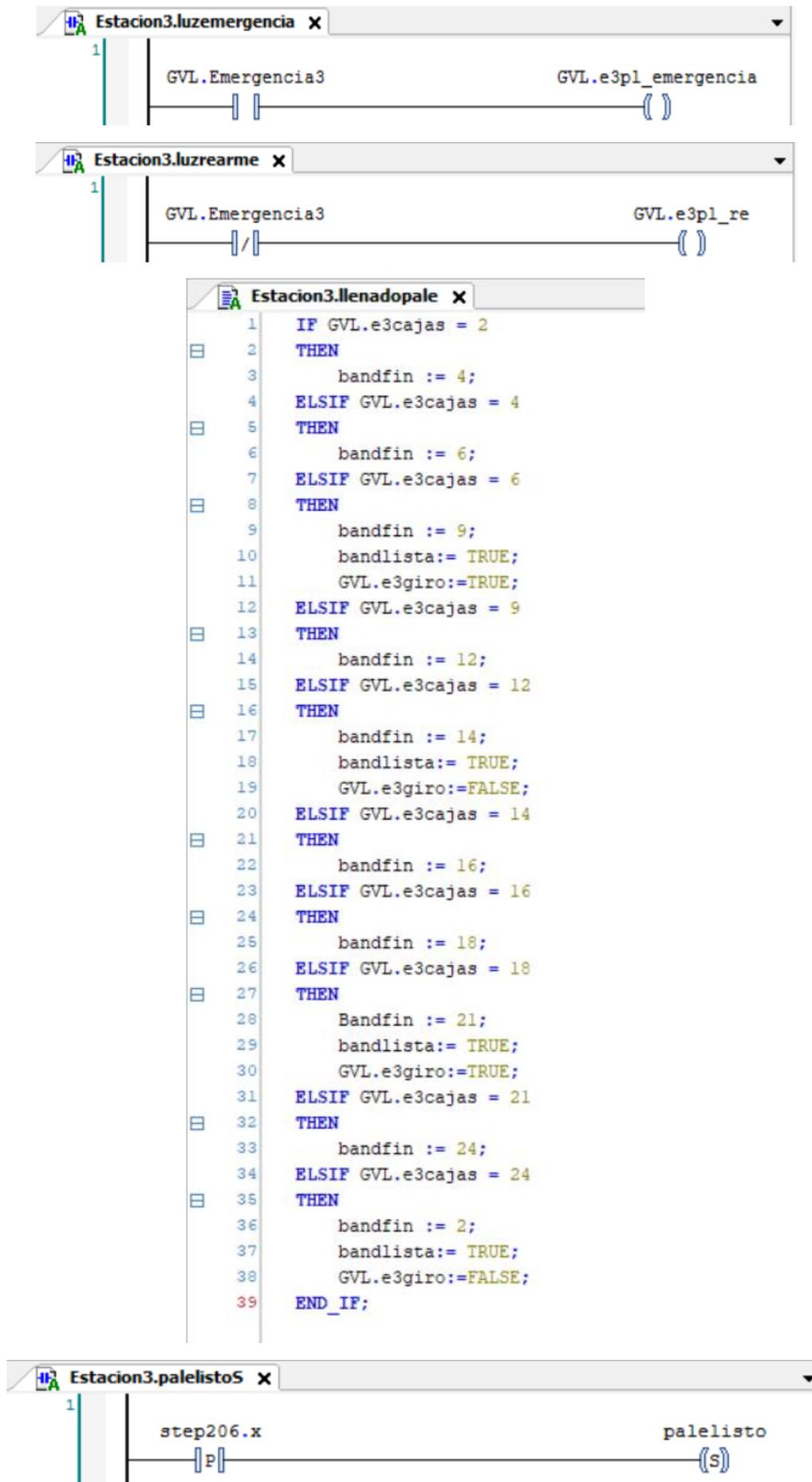
En la siguiente tabla se sintetizan este tipo de acciones presentes en esta estación:

Variable	Nombre acción RESET (0)	Nombre acción SET (1)
bandlista	Estacion3.bandlistaR	
GVL.e3c2	Estacion3.c2R	Estacion3.c2S
GVL.e3c5	Estacion3.c5R	Estacion3.c5S
GVL.e3giro	Estacion3.giroR	
GVL.e3pl_re	Estacion3.luzrearmeR	
palelisto	Estacion3.palelistoR	

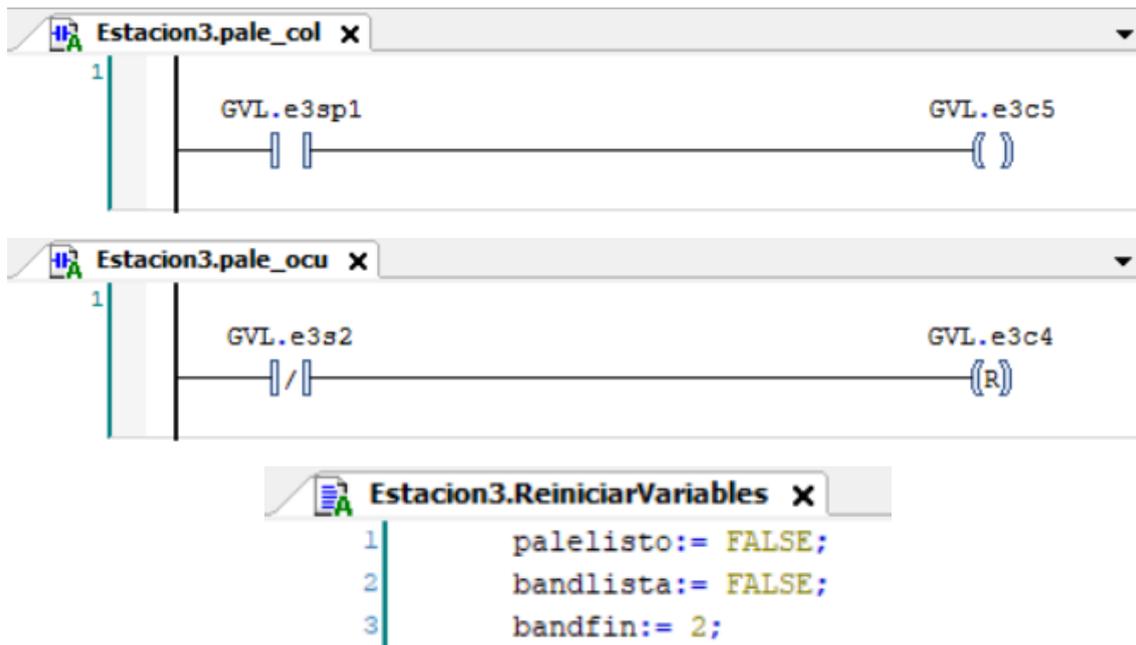
El resto de las acciones de la estación son las siguientes:



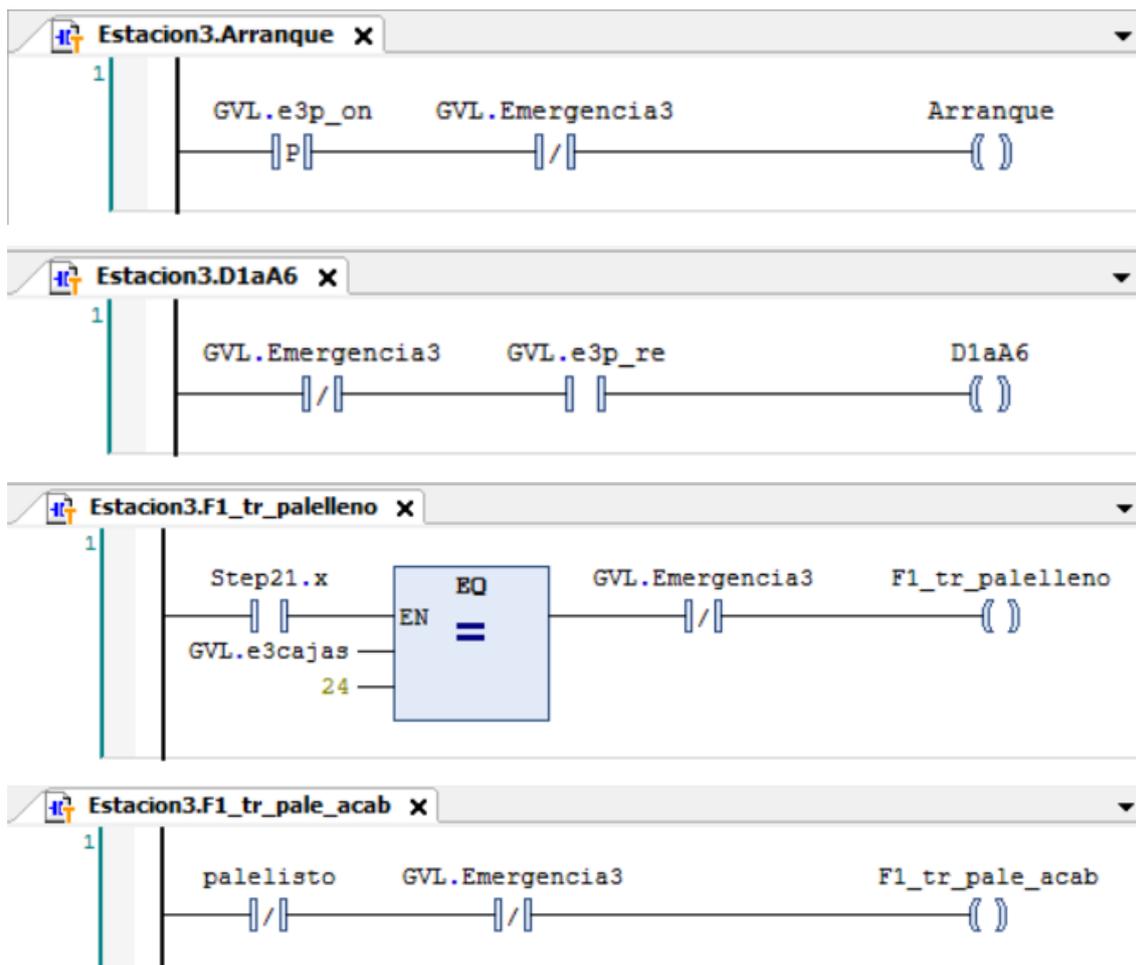
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



### 1.5.5 Transiciones



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



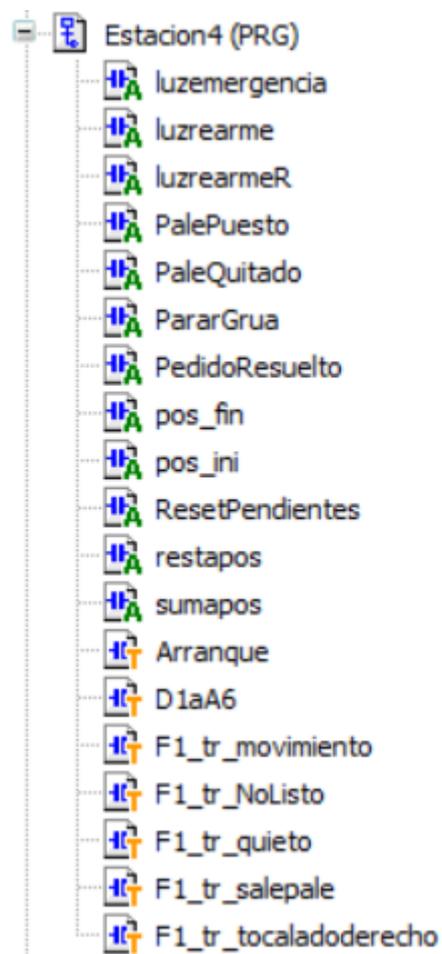
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 1.6 Programa estación 4

### 1.6.1 Variables internas

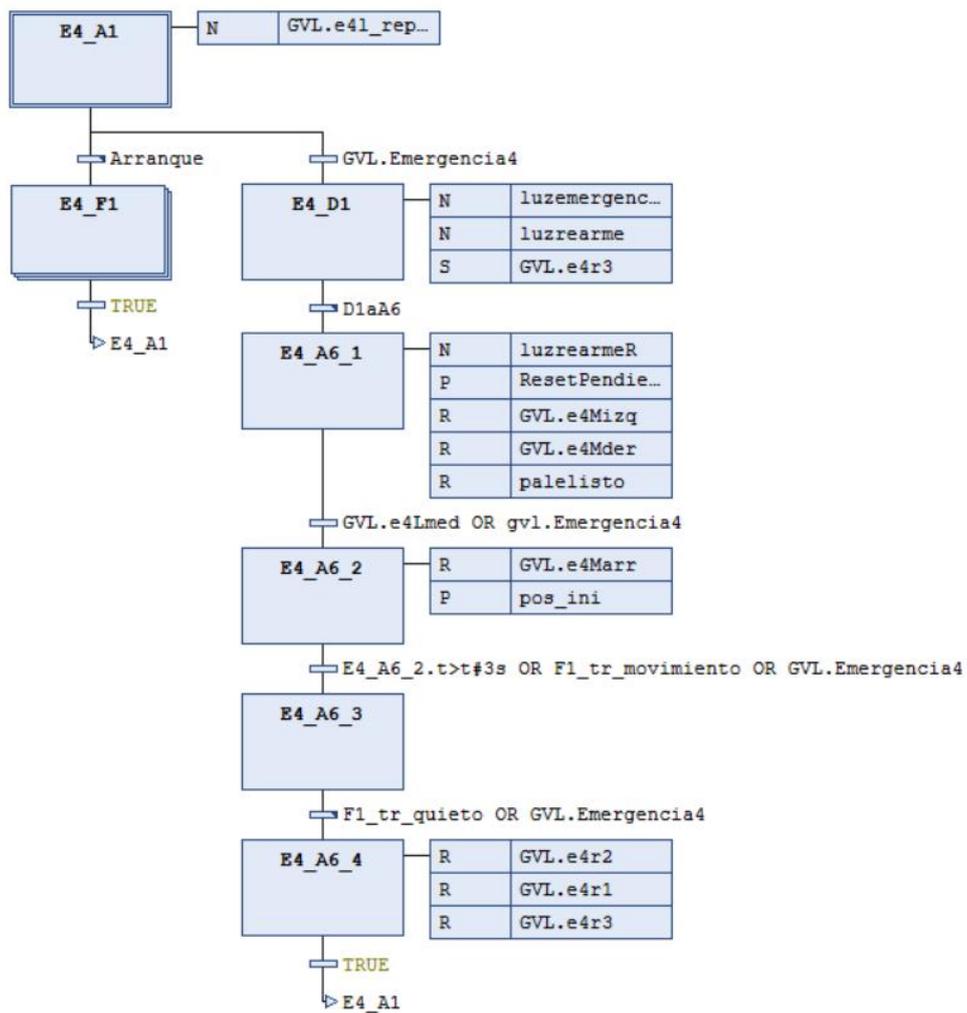
```
1 PROGRAM Estacion4
2 VAR
3     //Auxiliares
4     palelisto: BOOL:= FALSE;
5     ladoderecho: BOOL:= FALSE;
6     pos_previa: WORD:=0;
7
8 END_VAR
```

### 1.6.2 Árbol del programa con acciones y transiciones

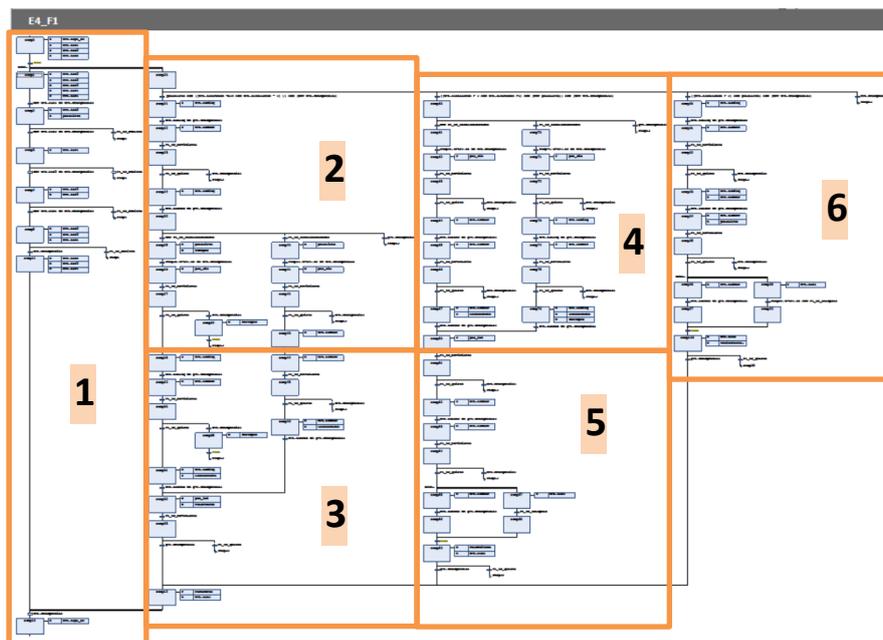


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

### 1.6.3 Programa principal

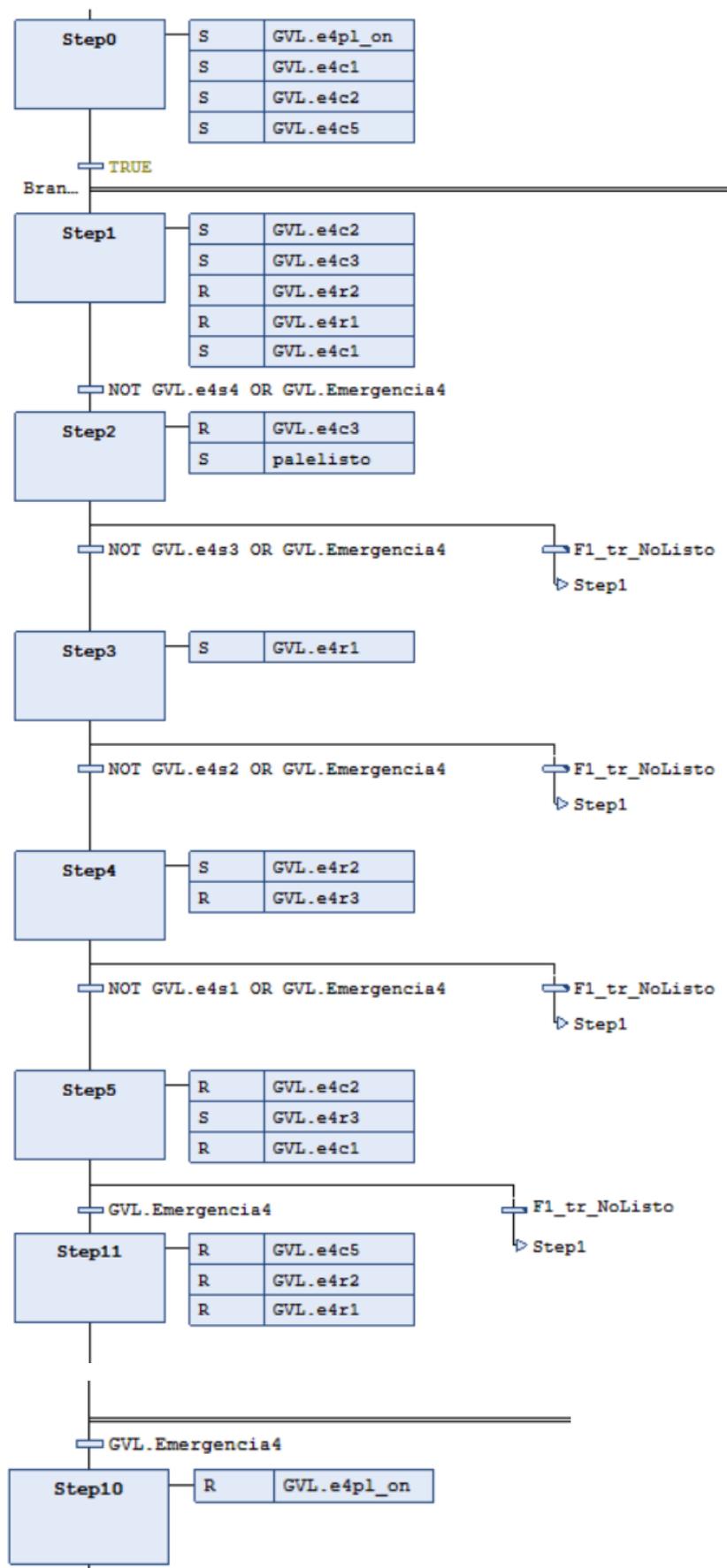


Debido al gran tamaño del código de funcionamiento normal (macro E4\_F1) de la cuarta estación, espacialmente se divide en las siguientes partes:



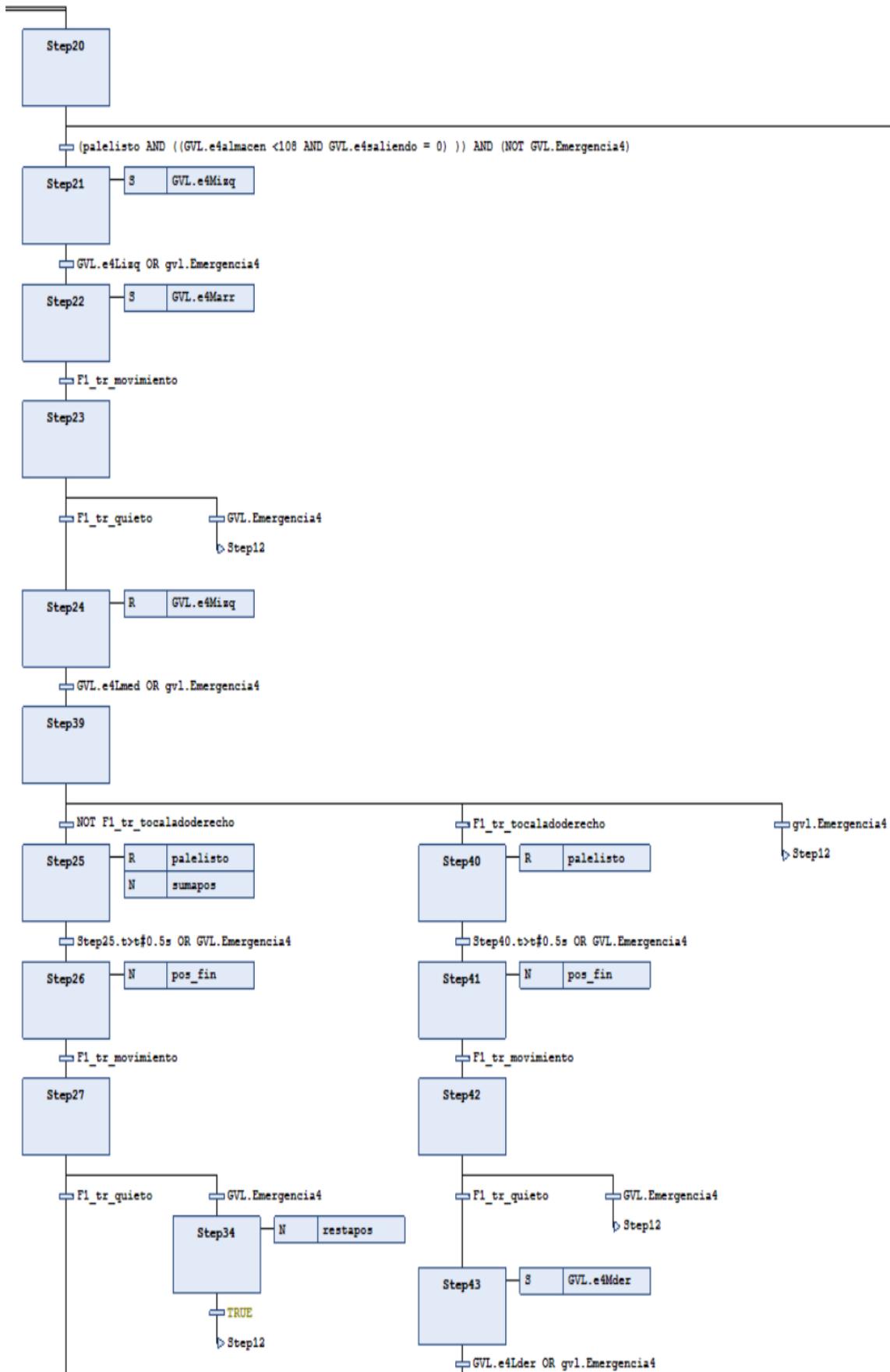
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Parte 1:



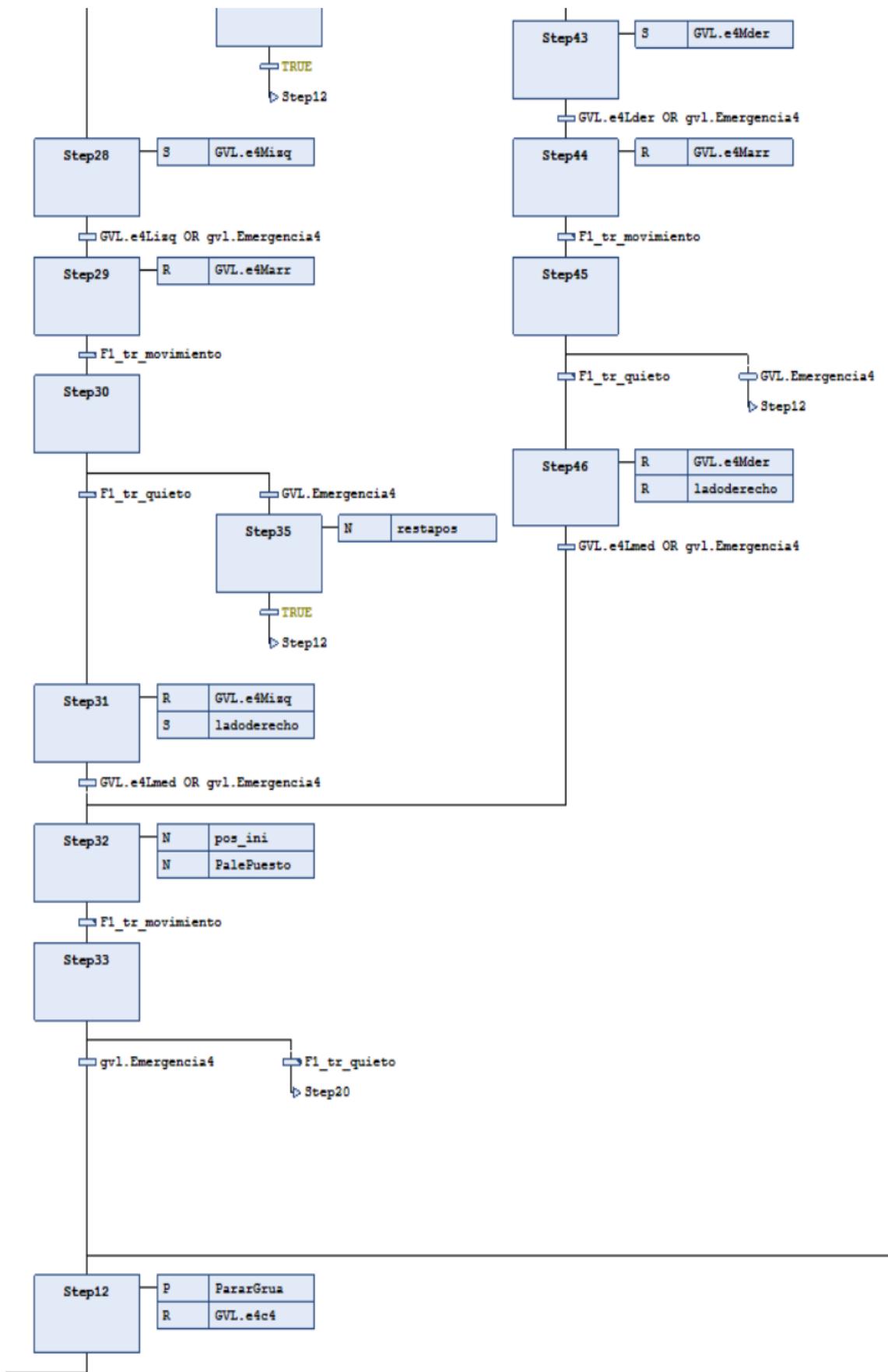
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Parte 2:



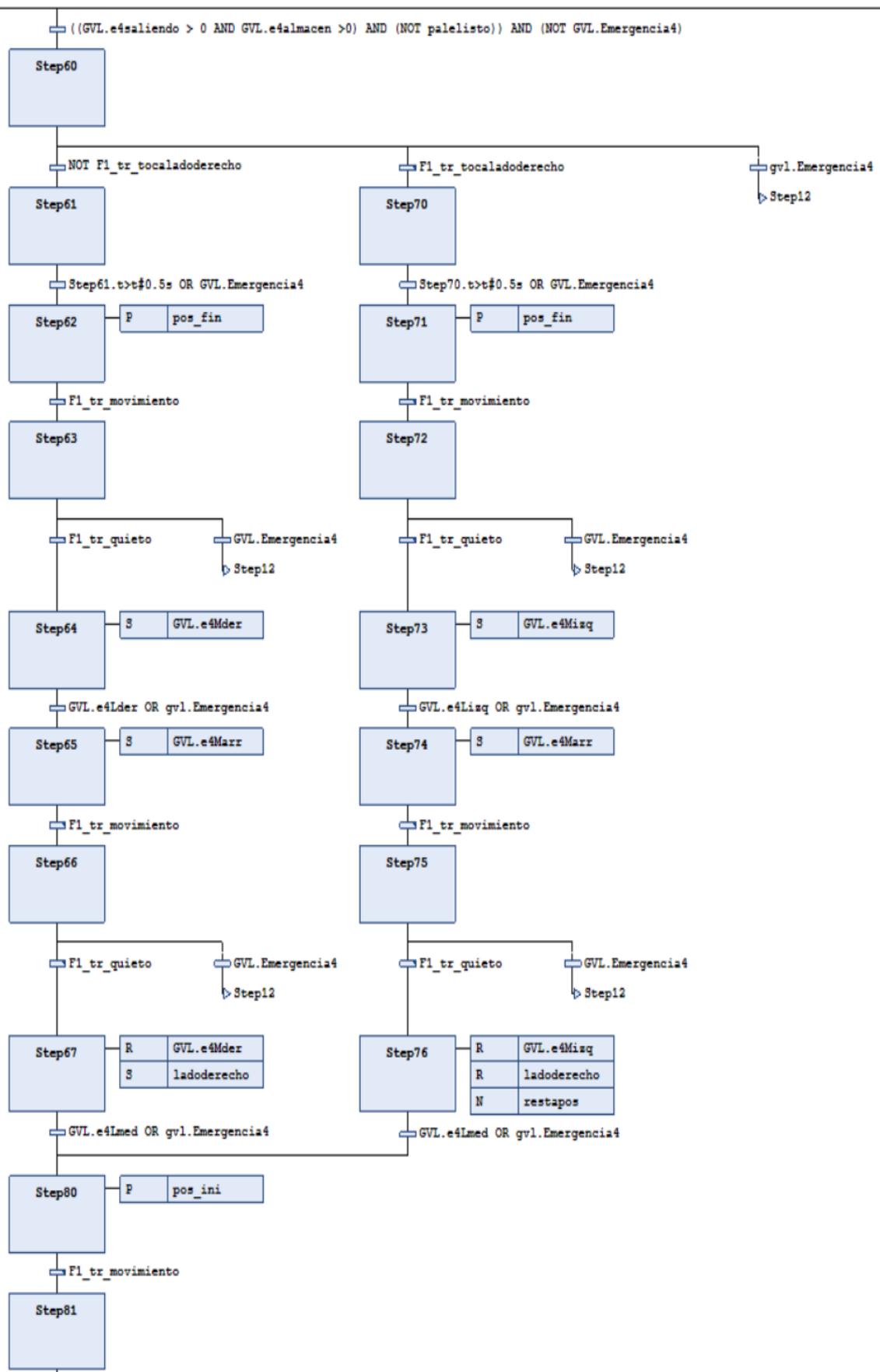
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Parte 3:



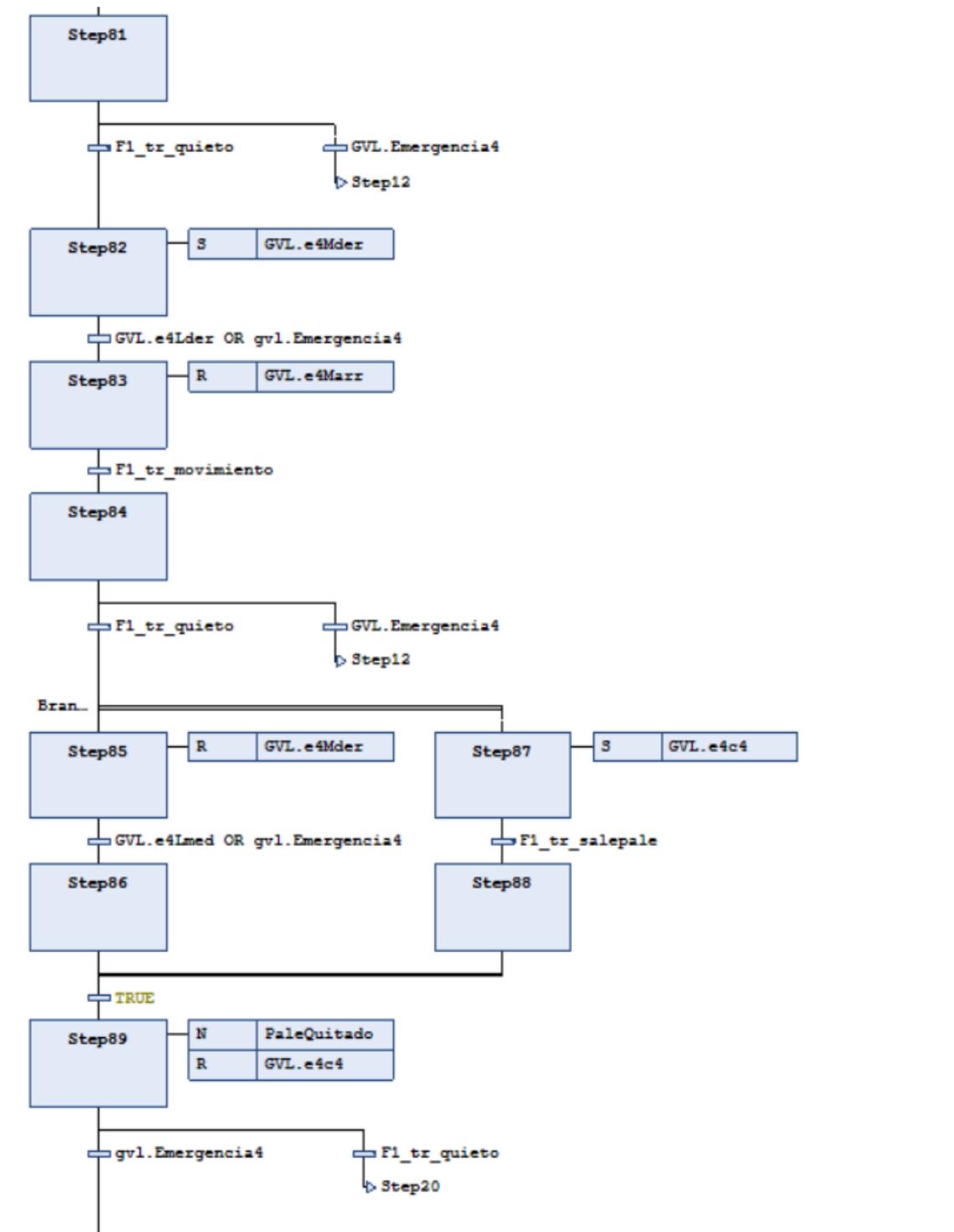
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Parte 4:



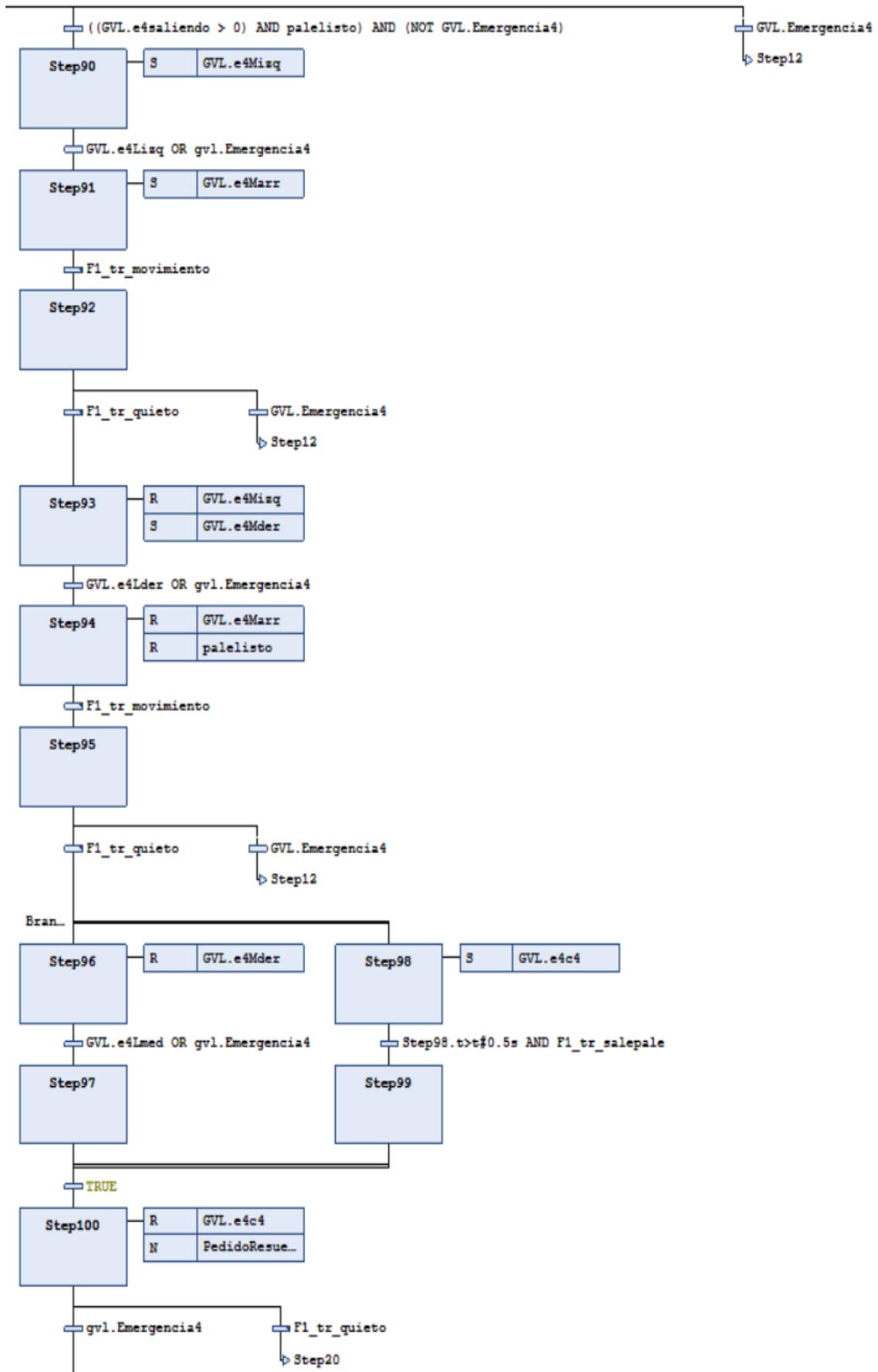
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Parte 5:



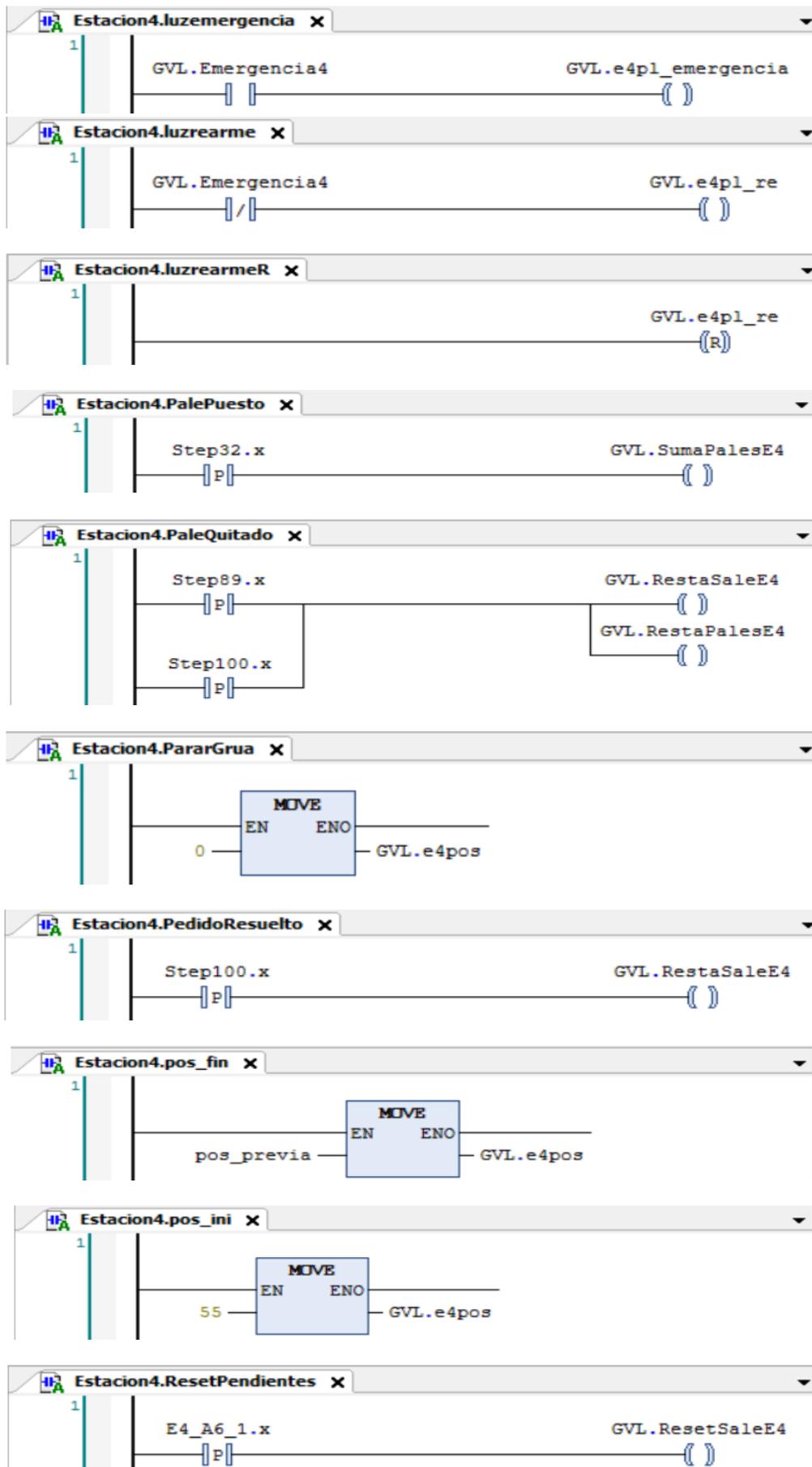
Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Parte 6:

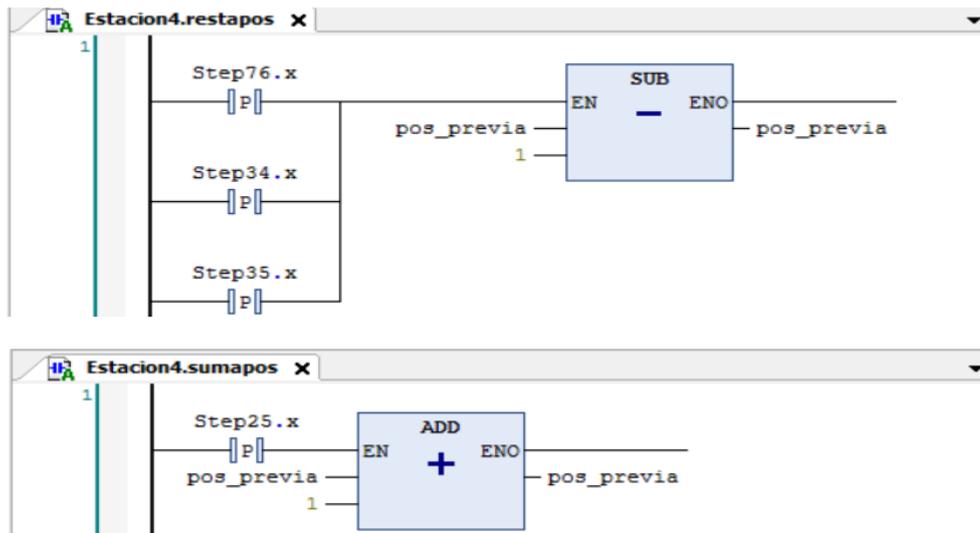


Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

#### 1.6.4 Acciones



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.



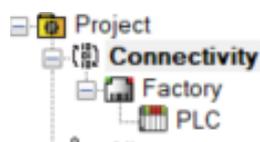
### 1.6.5 Transiciones



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

## 2 KEPServerEX

Para configurar el servidor OPC se crea un nuevo canal (“Factory”) y dentro de este un nuevo dispositivo (“PLC”).



Dentro del dispositivo se configuran las siguientes etiquetas o tags.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
ke1Altura	Application.GVL.e1Altura	Word	100	None
ke1b1	Application.GVL.e1b1	Boolean	100	None
ke1b2	Application.GVL.e1b2	Boolean	100	None
ke1c1	Application.GVL.e1c1	Boolean	100	None
ke1c2	Application.GVL.e1c2	Boolean	100	None
ke1c3	Application.GVL.e1c3	Boolean	100	None
ke1c4	Application.GVL.e1c4	Boolean	100	None
ke1cb1	Application.GVL.e1cb1	Boolean	100	None
ke1cb2	Application.GVL.e1cb2	Boolean	100	None
ke1l_reposo	Application.GVL.e1l_reposo	Boolean	100	None
ke1p_emergencia	Application.GVL.e1p_emergencia	Boolean	100	None
ke1p_off	Application.GVL.e1p_off	Boolean	100	None
ke1p_on	Application.GVL.e1p_on	Boolean	100	None
ke1p_re	Application.GVL.e1p_re	Boolean	100	None
ke1p_emergencia	Application.GVL.e1pl_emergencia	Boolean	100	None
ke1p_off	Application.GVL.e1pl_off	Boolean	100	None
ke1p_on	Application.GVL.e1pl_on	Boolean	100	None
ke1p_re	Application.GVL.e1pl_re	Boolean	100	None
ke1s1	Application.GVL.e1s1	Boolean	100	None
ke1s2	Application.GVL.e1s2	Boolean	100	None
ke1s3	Application.GVL.e1s3	Boolean	100	None
ke1s4	Application.GVL.e1s4	Boolean	100	None
ke1s5	Application.GVL.e1s5	Boolean	100	None
ke1Vpeso	Application.GVL.e1Vpeso	Float	100	None
ke2ActX	Application.GVL.e2ActX	Float	100	None
ke2ActY	Application.GVL.e2ActY	Float	100	None
ke2ActZ	Application.GVL.e2ActZ	Float	100	None
ke2c1	Application.GVL.e2c1	Boolean	100	None
ke2c2	Application.GVL.e2c2	Boolean	100	None
ke2c3	Application.GVL.e2c3	Boolean	100	None
ke2c4	Application.GVL.e2c4	Boolean	100	None
ke2CajaExtremo	Application.GVL.e2CajaExtremo	Boolean	100	None
ke2CajasColocadas	Application.GVL.e2CajasColocadas	Word	100	None
ke2CogerCaja	Application.GVL.e2CogerCaja	Boolean	100	None
ke2l_reposo	Application.GVL.e2l_reposo	Boolean	100	None
ke2MovimientoXY	Application.GVL.e2MovimientoXY	Boolean	100	None
ke2MovimientoZ	Application.GVL.e2MovimientoZ	Boolean	100	None
ke2p_emergencia	Application.GVL.e2p_emergencia	Boolean	100	None
ke2p_off	Application.GVL.e2p_off	Boolean	100	None
ke2p_on	Application.GVL.e2p_on	Boolean	100	None
ke2p_re	Application.GVL.e2p_re	Boolean	100	None
ke2pl_emergencia	Application.GVL.e2pl_emergencia	Boolean	100	None

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

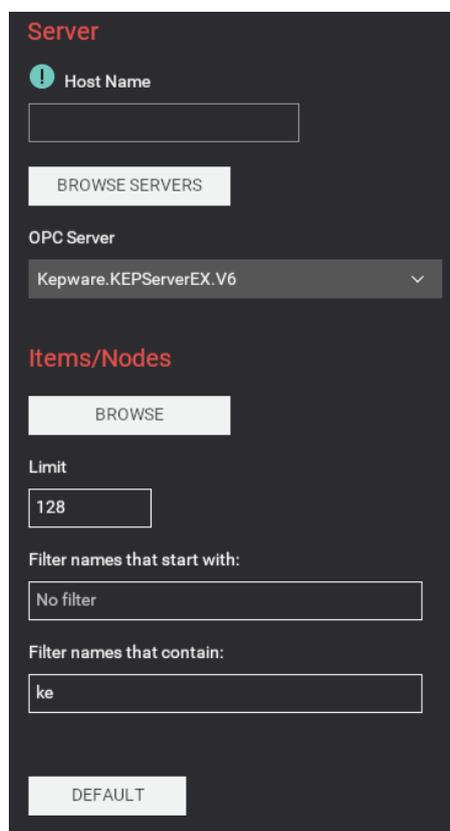
Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
ke2p_off	Application.GVL.e2p_off	Boolean	100	None
ke2p_on	Application.GVL.e2p_on	Boolean	100	None
ke2p_re	Application.GVL.e2p_re	Boolean	100	None
ke2pl_emergencia	Application.GVL.e2pl_emergencia	Boolean	100	None
ke2pl_off	Application.GVL.e2pl_off	Boolean	100	None
ke2pl_on	Application.GVL.e2pl_on	Boolean	100	None
ke2pl_re	Application.GVL.e2pl_re	Boolean	100	None
ke2PosX	Application.GVL.e2PosX	Float	100	None
ke2PosY	Application.GVL.e2PosY	Float	100	None
ke2PosZ	Application.GVL.e2PosZ	Float	100	None
ke2s1	Application.GVL.e2s1	Boolean	100	None
ke2s2	Application.GVL.e2s2	Boolean	100	None
ke2s3	Application.GVL.e2s3	Boolean	100	None
ke3asc_abajo	Application.GVL.e3asc_abajo	Boolean	100	None
ke3asc_arriba	Application.GVL.e3asc_arriba	Boolean	100	None
ke3asc_lim	Application.GVL.e3asc_lim	Boolean	100	None
ke3asc_mov	Application.GVL.e3asc_mov	Boolean	100	None
ke3bandeja	Application.GVL.e3bandeja	Boolean	100	None
ke3bandejafin	Application.GVL.e3bandejafin	Boolean	100	None
ke3c1	Application.GVL.e3c1	Boolean	100	None
ke3c2	Application.GVL.e3c2	Boolean	100	None
ke3c3	Application.GVL.e3c3	Boolean	100	None
ke3c4	Application.GVL.e3c4	Boolean	100	None
ke3c5	Application.GVL.e3c5	Boolean	100	None
ke3cajas	Application.GVL.e3cajas	Word	100	None
ke3empujar	Application.GVL.e3empujar	Boolean	100	None
ke3empujarfin	Application.GVL.e3empujarfin	Boolean	100	None
ke3giro	Application.GVL.e3giro	Boolean	100	None
ke3juntar	Application.GVL.e3juntar	Boolean	100	None
ke3junto	Application.GVL.e3junto	Boolean	100	None
ke3l_reposo	Application.GVL.e3l_reposo	Boolean	100	None
ke3p_emergencia	Application.GVL.e3p_emergencia	Boolean	100	None
ke3p_on	Application.GVL.e3p_on	Boolean	100	None
ke3p_re	Application.GVL.e3p_re	Boolean	100	None
ke3pl_emergencia	Application.GVL.e3pl_emergencia	Boolean	100	None
ke3pl_on	Application.GVL.e3pl_on	Boolean	100	None
ke3pl_re	Application.GVL.e3pl_re	Boolean	100	None
ke3s1	Application.GVL.e3s1	Boolean	100	None
ke3s2	Application.GVL.e3s2	Boolean	100	None
ke3s3	Application.GVL.e3s3	Boolean	100	None
ke3sp1	Application.GVL.e3sp1	Boolean	100	None
ke3sp2	Application.GVL.e3sp2	Boolean	100	None
ke4almacen	Application.GVL.e4almacen	Word	100	None
ke4c1	Application.GVL.e4c1	Boolean	100	None
ke4c2	Application.GVL.e4c2	Boolean	100	None
ke4c3	Application.GVL.e4c3	Boolean	100	None
ke4c4	Application.GVL.e4c4	Boolean	100	None
ke4c5	Application.GVL.e4c5	Boolean	100	None
ke4l_reposo	Application.GVL.e4l_reposo	Boolean	100	None
ke4Lder	Application.GVL.e4Lder	Boolean	100	None
ke4Lizq	Application.GVL.e4Lizq	Boolean	100	None
ke4Lmed	Application.GVL.e4Lmed	Boolean	100	None
ke4Marr	Application.GVL.e4Marr	Boolean	100	None
ke4Mder	Application.GVL.e4Mder	Boolean	100	None
ke4Mizq	Application.GVL.e4Mizq	Boolean	100	None

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
ke4movx	Application.GVL.e4movx	Boolean	100	None
ke4movz	Application.GVL.e4movz	Boolean	100	None
ke4p_emergencia	Application.GVL.e4p_emergencia	Boolean	100	None
ke4p_on	Application.GVL.e4p_on	Boolean	100	None
ke4p_re	Application.GVL.e4p_re	Boolean	100	None
ke4p_saca	Application.GVL.e4p_saca	Boolean	100	None
ke4pl_emergencia	Application.GVL.e4pl_emergencia	Boolean	100	None
ke4pl_on	Application.GVL.e4pl_on	Boolean	100	None
ke4pl_re	Application.GVL.e4pl_re	Boolean	100	None
ke4pl_saca	Application.GVL.e4pl_saca	Boolean	100	None
ke4pos	Application.GVL.e4pos	Word	100	None
ke4r1	Application.GVL.e4r1	Boolean	100	None
ke4r2	Application.GVL.e4r2	Boolean	100	None
ke4r3	Application.GVL.e4r3	Boolean	100	None
ke4s1	Application.GVL.e4s1	Boolean	100	None
ke4s2	Application.GVL.e4s2	Boolean	100	None
ke4s3	Application.GVL.e4s3	Boolean	100	None
ke4s4	Application.GVL.e4s4	Boolean	100	None
ke4s5	Application.GVL.e4s5	Boolean	100	None
ke4saliendo	Application.GVL.e4saliendo	Word	100	None

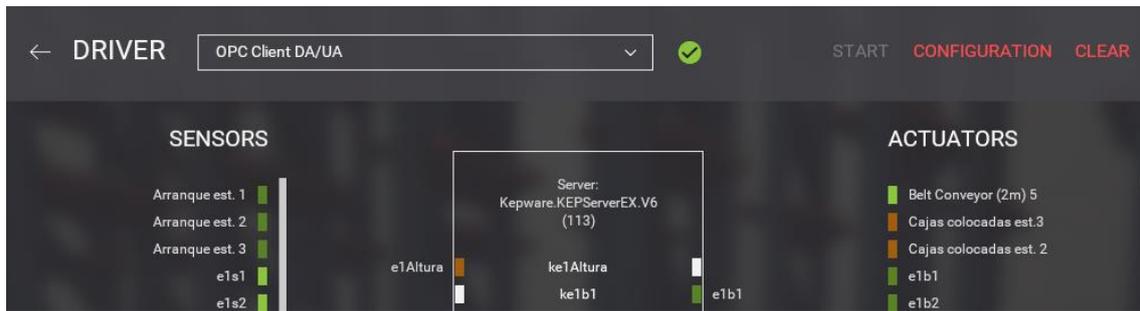
### 3 Factory I/O

Dentro del Factory I/O se configura el servidor OPC de tipo DA/UA. Al usar KEPServerEX hay que tener en cuenta su límite de 128 nodos. Para evitar incluir en la lista de conexionado algunos nodos predeterminados del servidor OPC se filtran todos los que empiezan por “ke”.



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Dentro del menú “driver” se configura el servidor OPC. En él se conectan todos los sensores con las entradas filtradas del servidor OPC, así como los actuadores con las salidas.



Los tipos de variables se distinguen según el color: verde tipo Bit, azul número Real y naranja número Entero.



Las variables del servidor OPC asociadas a la estación 1 se asignan de la siguiente forma:



Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

Las variables del servidor OPC asociadas a la estación 2 se asignan de la siguiente forma:

		ke2ActX	e2ActX
		ke2ActY	e2ActY
		ke2ActZ	e2ActZ
		ke2c1	e2c1
		ke2c2	e2c2
		ke2c3	e2c3
		ke2c4	e2c4
e2CajaExtremo		ke2CajaExtremo	
		ke2CajasColocadas	Cajas colocadas est. 2
		ke2CogerCaja	e2CogerCaja
		ke2l_reposo	Luz Reposo est. 2
e2MovimientoXY		ke2MovimientoXY	
e2MovimientoZ		ke2MovimientoZ	
Emergencia est. 2		ke2p_emergencia	
Parada est. 2		ke2p_off	
Arranque est. 2		ke2p_on	
Reinicio est. 2		ke2p_re	
		ke2pl_emergencia	Luz alerta est. 2
		ke2pl_off	Luz Parada est. 2
		ke2pl_on	Luz Arranque est. 2
		ke2pl_re	Luz reinicio est. 2
e2PosX		ke2PosX	Pos. eje X
e2PosY		ke2PosY	Pos. eje Y
e2PosZ		ke2PosZ	Pos. eje Z
e2s1		ke2s1	
e2s2		ke2s2	
e2s3		ke2s3	

Las variables del servidor OPC asociadas a la estación 3 se asignan de la siguiente forma:

		ke3asc_abajo	e3asc_abajo
		ke3asc_arriba	e3asc_arriba
		ke3asc_lim	e3asc_lim
e3asc_mov		ke3asc_mov	
		ke3bandeja	e3bandeja
e3bandejafin		ke3bandejafin	
		ke3c1	e3c1
		ke3c2	e3c2
		ke3c3	e3c3
		ke3c4	e3c4
		ke3c5	e3c5
		ke3cajas	Cajas colocadas est.3
		ke3empujar	e3empujar
e3empujarfin		ke3empujarfin	
		ke3giro	e3giro
		ke3juntar	e3juntar

Proyecto de diseño y automatización de una línea logística de clasificación, paletizado y almacenamiento de productos empleando Factory I/O para su evaluación con gemelo digital.

e3junto	ke3junto	
	ke3l_reposo	Luz reposo est. 3
Emergencia est. 3	ke3p_emergencia	
Arranque est. 3	ke3p_on	
Reinicio est. 3	ke3p_re	
	ke3pl_emergencia	Luz alerta est. 3
	ke3pl_on	Luz Arranque est. 3
	ke3pl_re	Luz reinicio est. 3
e3s1	ke3s1	
e3s2	ke3s2	
e3s3	ke3s3	
e3sp1	ke3sp1	
e3sp2	ke3sp2	

Las variables del servidor OPC asociadas a la estación 4 se asignan de la siguiente forma:

	ke4almacen	e4almacen
	ke4c1	e4c1
	ke4c2	e4c2
	ke4c3	e4c3
	ke4c4	e4c4
	ke4c5	e4c5
	ke4l_reposo	e4l_reposo
e4Lder	ke4Lder	
e4Lizq	ke4Lizq	
e4Lmed	ke4Lmed	
	ke4Marr	e4Marr
	ke4Mder	e4Mder
	ke4Mizq	e4Mizq
e4movx	ke4movx	
e4movz	ke4movz	
e4p_emergencia	ke4p_emergencia	
e4p_on	ke4p_on	
e4p_re	ke4p_re	
e4p_saca	ke4p_saca	
	ke4pl_emergencia	e4pl_emergencia
	ke4pl_on	e4pl_on
	ke4pl_re	e4pl_re
	ke4pl_saca	e4pl_saca
	ke4pos	e4pos
	ke4r1	e4r1
	ke4r2	e4r2
	ke4r3	e4r3
e4s1	ke4s1	
e4s2	ke4s2	
e4s3	ke4s3	
e4s4	ke4s4	
e4s5	ke4s5	
	ke4saliendo	e4saliendo