



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

## CONTROL Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CAJAS

### PROYECTO FINAL DE GRADO

*TRABAJO FINAL DEL*

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

*REALIZADO POR*

Sergio Martínez Olmos

*TUTORIZADO POR*

Antonio Correcher Salvador

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021



## **Agradecimientos**

A mis padres, Jose y Rosa, por haberme educado de la mejor manera posible y apoyado incondicionalmente en cualquier situación.

A mi tutor, Antonio, por haberme motivado a realizar este proyecto y ayudado desde el primer día.



## **Resumen**

En el presente trabajo se lleva a cabo el diseño y simulación de un proceso industrial de clasificación y distribución de cajas. Los materiales se producirán a partir de materia prima en distintos colores y formas, pasarán por una fase de selección, se empaquetarán y finalmente se clasificarán para su distribución.

La simulación se implementará mediante el uso del software Factory I/O, que dispone de una gran variedad de elementos para la realización de escenas reales. Así mismo, el control de la cadena de montaje se programará en Codesys, un software de programación de controladores, en este caso de PLC. Se realizará la comunicación entre ambos programas a través de una red ethernet.

## **Resum**

Al present treball es duu a terme el disseny i simulació d'un procés industrial de classificació i distribució de caixes. Els materials es produiran a partir de la matèria prima en distints colors i formes, passaran per una fase de selecció, s'empaquetaran i, finalment, es classificaran de nou per a la seua distribució.

La simulació s'implementarà mitjançant l'ús del software Factory I/O, que disposa d'una gran varietat d'elements per a la realització d'escenes reals. Així mateix, el control de la cadena de muntatge es programarà en Codesys, un software de programació de controladors, en aquest cas de PLC. Es realitzarà la comunicació entre ambdós programes a través d'una red ethernet.

## **Abstract**

The present work carries out the design and simulation of an industrial process of classification and distribution of boxes. The materials will be produced from raw material in different colors and shapes, that will go through a selection zone and will be packaged and finally classified for distribution.

The simulation will be implemented by using the Factory I/O software, which has a wide variety of elements for the realization of real scenes. Likewise, the control of the assembly line will be programmed in Codesys, a controller programming software, PLC in this case. The communication between both programs will be made through an ethernet network.



## Índice de contenido

<b>DOCUMENTO I: MEMORIA TÉCNICA .....</b>	<b>1</b>
<b>DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>DOCUMENTO III: PRESUPUESTO.....</b>	<b>46</b>
<b>DOCUMENTO IV: ANEXOS .....</b>	<b>52</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 2. 1.</b> Interfaz de Factory I/O.....	4
<b>Figura 2. 2.</b> Interfaz de Codesys.....	5
<b>Figura 2. 3.</b> Emitter de Factory I/O. ....	6
<b>Figura 2. 4.</b> Cinta transportadora de Factory I/O. ....	6
<b>Figura 2. 5.</b> CT Curva de Factory I/O.....	7
<b>Figura 2. 6.</b> Brazo separador de Factory I/O.....	7
<b>Figura 2. 7.</b> Pusher de Factory I/O. ....	7
<b>Figura 2. 8.</b> Alineador tipo 4 de Factory I/O. ....	8
<b>Figura 2. 9.</b> Alineadores tipo 2 y 3 de Factory I/O.....	8
<b>Figura 2. 10.</b> Tolva de Factory I/O.....	8
<b>Figura 2. 11.</b> Pick & Place 2-A de Factory I/O. ....	8
<b>Figura 2. 12.</b> Cinta Rodillos de Factory I/O.....	9
<b>Figura 2. 13.</b> CR curva de Factory I/O.....	9
<b>Figura 2. 14.</b> Transportador de carga de Factory I/O.....	9
<b>Figura 2. 15.</b> Turntable de Factory I/O.....	10
<b>Figura 2. 16.</b> Pick & Place de Factory I/O.....	10
<b>Figura 2. 17.</b> Transelevador y estantería de Factory I/O.....	11
<b>Figura 2. 18.</b> Barras de pos. de Factory I/O.....	12
<b>Figura 2. 19.</b> Stop blade de Factory I/O.....	12
<b>Figura 2. 20.</b> Remover de Factory I/O. ....	12
<b>Figura 2. 21.</b> Diffuse sensor de Factory I/O. ....	13
<b>Figura 2. 22.</b> Sensor retro-reflector de Factory I/O. ....	13
<b>Figura 2. 23.</b> Sensor de visión de Factory I/O.....	13
<b>Figura 2. 24.</b> Cuadro eléctrico con operadores de Factory I/O. ....	14
<b>Figura 2. 25.</b> Vista general de la planta separada por zonas de Factory I/O.....	15
<b>Figura 2. 26.</b> Vista general de la planta de Factory I/O.....	17
<b>Figura 3. 1.</b> Vista de la zona 1 de Factory I/O.....	18
<b>Figura 3. 2.</b> Vista de la zona 2 de Factory I/O.....	19
<b>Figura 3. 3.</b> Vista de la zona 3 de Factory I/O.....	19
<b>Figura 3. 4.</b> Vista de la zona 4 de Factory I/O.....	20
<b>Figura 3. 5.</b> Vista de la zona 5 de Factory I/O.....	20
<b>Figura 3. 6.</b> Vista de la zona 6 de Factory I/O.....	21
<b>Figura 3. 7.</b> Vista superior de la zona 6 de Factory I/O.....	21
<b>Figura 3. 8.</b> GRAFCET principal de Codesys. ....	23
<b>Figura 3. 9.</b> Tres primeras líneas de Estados_PRG de Codesys. ....	23
<b>Figura 3. 10.</b> Esquema de la guía GEMMA. ....	25
<b>Figura 3. 11.</b> Divergencia 1 de Auto_SFC_PR de Codesys.....	27
<b>Figura 3. 12.</b> Divergencia 2 de Auto_SFC_PR de Codesys.....	27
<b>Figura 3. 13.</b> Control de lotes de Auto_LD_PR de Codesys. ....	27
<b>Figura 3. 14.</b> Activar temporizador TON_SS_NonEqual de Auto_LD_SS de Codesys. ..	28
<b>Figura 3. 15.</b> Ejemplo divergencia de Auto_SFC_PR_VisionError de Codesys. ....	29
<b>Figura 3. 16.</b> Auto_SFC_SS de Codesys. ....	29
<b>Figura 3. 17.</b> Línea 1 de Auto_LD_SP de Codesys. ....	30
<b>Figura 3. 18.</b> Línea 2 de Auto_LD_SP de Codesys. ....	30
<b>Figura 3. 19.</b> Divergencia simultánea de Auto_SFC_AS_Blue de Codesys.....	31
<b>Figura 3. 20.</b> Contador de pallets de Auto_LD_BX_Palletizer de Codesys. ....	32
<b>Figura 3. 21.</b> Contadores de Auto_LD_BX_Pick de Codesys. ....	33
<b>Figura 3. 22.</b> Últimas etapas de Auto_SFC_BX_Pick de Codesys.....	33
<b>Figura 3. 23.</b> Contador Up-Down Almacén Azul 1 de Auto_LD_WH de Codesys. ....	35
<b>Figura 3. 24.</b> Interfaz de usuario de Codesys. ....	37



<b>Figura Anexo 1.</b> Sensores Zona 1 (1) de Factory I/O.....	63
<b>Figura Anexo 2.</b> Sensores Zona 1 (2) de Factory I/O.....	63
<b>Figura Anexo 3.</b> Sensores Zona 2 de Factory I/O.....	64
<b>Figura Anexo 4.</b> Sensores Zona 4 de Factory I/O.....	64
<b>Figura Anexo 5.</b> Sensores Zona 5 (1) de Factory I/O.....	64
<b>Figura Anexo 6.</b> Sensores Zona 5 (2) de Factory I/O.....	65
<b>Figura Anexo 7.</b> Sensores Zona 5 (3) de Factory I/O.....	65
<b>Figura Anexo 8.</b> Sensores Zona 6 (1) de Factory I/O.....	65
<b>Figura Anexo 9.</b> Sensores Zona 6 (2) de Factory I/O.....	66
<b>Figura Anexo 10.</b> Sensores Zona 6 (3) de Factory I/O.....	66
<b>Figura Anexo 11.</b> Sensores Zona 6 (4) de Factory I/O.....	66
<b>Figura Anexo 12.</b> Sensores Zona 6 (5) de Factory I/O.....	67
<b>Figura Anexo 13.</b> Sensores Zona 6 (6) de Factory I/O.....	67
<b>Figura Anexo 14.</b> Sensores Zona 6 (7) de Factory I/O.....	67
<b>Figura Anexo 15.</b> Sensores Zona 6 (8) de Factory I/O.....	68
<b>Figura Anexo 16.</b> Actuadores Zona 1 (1) de Factory I/O.....	68
<b>Figura Anexo 17.</b> Actuadores Zona 1 (2) de Factory I/O.....	68
<b>Figura Anexo 18.</b> Actuadores Zona 2 de Factory I/O.....	69
<b>Figura Anexo 19.</b> Actuadores Zona 3 de Factory I/O.....	69
<b>Figura Anexo 20.</b> Actuadores Zona 4 de Factory I/O.....	69
<b>Figura Anexo 21.</b> Actuadores Zona 5 (1) de Factory I/O.....	70
<b>Figura Anexo 22.</b> Actuadores Zona 5 (2) de Factory I/O.....	70
<b>Figura Anexo 23.</b> Actuadores Zona 6 (1) de Factory I/O.....	71
<b>Figura Anexo 24.</b> Actuadores Zona 6 (2) de Factory I/O.....	71
<b>Figura Anexo 25.</b> Actuadores Zona 6 (3) de Factory I/O.....	71
<b>Figura Anexo 26.</b> Actuadores Zona 6 (4) de Factory I/O.....	72
<b>Figura Anexo 27.</b> Actuadores Zona 6 (5) de Factory I/O.....	72
<b>Figura Anexo 28.</b> Actuadores Zona 6 (6) de Factory I/O.....	72
<b>Figura Anexo 29.</b> Actuadores Zona 6 (7) de Factory I/O.....	73
<b>Figura Anexo 30.</b> Actuadores Zona 6 (8) de Factory I/O.....	73
<b>Figura Anexo 31.</b> Actuadores Zona 6 (9) de Factory I/O.....	73

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Desglose en secciones del desarrollo del proyecto.....	48
<b>Tabla 2.</b> Coste mano de obra. ....	49
<b>Tabla 3.</b> Costes maquinaria utilizada. ....	49
<b>Tabla 4.</b> Precio descompuesto de MO.1.....	50
<b>Tabla 5.</b> Precio descompuesto de MO.2.....	50
<b>Tabla 6.</b> Precio descompuesto de MO.3.....	50
<b>Tabla 7.</b> Precio descompuesto de MO.4.....	51
<b>Tabla 8.</b> Precio unitario de cada sección. ....	51
<b>Tabla 9.</b> Operadores Cuadro. ....	54
<b>Tabla 10.</b> Sensores Assambler Zone.....	54
<b>Tabla 11.</b> Sensores Sorting Station Zone. ....	55
<b>Tabla 12.</b> Sensores Production Zone.....	55
<b>Tabla 13.</b> Sensores Box Zone. ....	55
<b>Tabla 14.</b> Sensores Warehouse Zone (1). ....	56
<b>Tabla 15.</b> Sensores Warehouse Zone (2). ....	57
<b>Tabla 16.</b> Actuadores cuadro.....	57
<b>Tabla 17.</b> Actuadores Sorting Station Zone. ....	57
<b>Tabla 18.</b> Actuadores Separation Zone.....	58
<b>Tabla 19.</b> Actuadores Assambler Zone.....	58
<b>Tabla 20.</b> Actuadores Production Zone.....	59
<b>Tabla 21.</b> Actuadores Box Zone.....	59
<b>Tabla 22.</b> Actuadores Warehouse Zone (1). ....	60
<b>Tabla 23.</b> Actuadores Warehouse Zone (2). ....	61
<b>Tabla 24.</b> Register Inputs.....	62
<b>Tabla 25.</b> Holding Registers.....	62



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

## CONTROL Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CAJAS

### DOCUMENTO I: MEMORIA TÉCNICA

*TRABAJO FINAL DEL*

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

*REALIZADO POR*

**Sergio Martínez Olmos**

*TUTORIZADO POR*

**Antonio Correcher Salvador**

**CURSO ACADÉMICO: 2020/2021**

# Índice de la memoria técnica

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Objeto del proyecto	2
1.2. Antecedentes	2
1.3. Estudio de necesidades y limitaciones	3
<b>2. Justificación de la solución adoptada</b>	<b>4</b>
2.1. Software utilizado	4
2.1.1. Factory I/O	4
2.1.2. Codesys V3.5	5
2.1.3. Comunicación entre Codesys y Factory I/O	5
2.2. Elementos utilizados	6
2.2.1. Actuadores	6
2.2.2. Sensores	13
2.2.3. Operadores	14
2.3. Descripción de la planta	15
<b>3. Descripción detallada de la solución adoptada</b>	<b>18</b>
3.1. Simulación de la planta	18
3.2. Diseño del control	23
3.2.1. GRAFCET principal	23
3.2.2. Modo automático	26
3.2.2.1. Zona 1: Production	26
3.2.2.2. Zona 2: Sorting Station	29
3.2.2.3. Zona 3: Separation	30
3.2.2.4. Zona 4: Assambler	31
3.2.2.5. Zona 5: Box	32
3.2.2.6. Zona 6: WareHouse	34
3.2.3. Modo manual	36
3.2.4. Parada de emergencia	36
3.3. Diseño de la interfaz del operario	37
<b>4. Propuestas de mejora</b>	<b>39</b>
<b>5. Conclusiones</b>	<b>40</b>
<b>6. Referencias</b>	<b>41</b>

# 1. Introducción

## 1.1. Objeto del proyecto

El objeto del presente trabajo de fin de grado es simular una planta de clasificación y distribución de cajas, haciendo uso del software *Factory I/O*, así como el control de esta mediante el entorno de programación de PLC's *Codesys V3.5*. Además, el control se programará de la forma más eficiente posible, realizando un estudio económico posterior.

Gracias a los softwares de simulación 3D, como *Factory I/O*, pueden recrearse procesos industriales muy cercanos a la realidad en nuestro ordenador. Así, con el desarrollo de este proyecto se pretende mostrar el potencial de la simulación de procesos automáticos de grandes dimensiones y a su vez, de las dificultades e inconvenientes que pueden surgir.

Se hará uso de tres lenguajes de programación para llevar a cabo el control de la planta: GRAFCET, Ladder y Structured Text (ST), con el objetivo secundario de aplicar, ampliar y poner en práctica los conocimientos adquiridos en las asignaturas de Automatización Industrial e Informática Industrial I y II, desarrolladas a lo largo del grado.

## 1.2. Antecedentes

La automatización industrial, en la actualidad, está totalmente integrada en la mayor parte de empresas. Ha ido encontrando una mayor aceptación con el paso del tiempo, ya que presenta una gran cantidad de ventajas y beneficios, como pueden ser los ahorros en mano de obra, una mayor productividad, una mejora en la calidad, una flexibilidad casi total, entre otras muchas.

Además, esta progresa día tras día, gracias a la mejora en la tecnología y a nuevos métodos que van desarrollándose. Por ejemplo, la inclusión de visión artificial para la inspección automática en los productos o, la constante mejora en los brazos robot y sistemas automáticos.

Los controladores lógicos programables (PLC) son los más utilizados en el mundo industrial, por su gran utilidad y su programación sencilla. Además, permiten operar en una gran variedad de sistemas de control, obteniendo un gran abanico de posibilidades que aumentan su flexibilidad. También, anularon la necesidad de volver a cablear un sistema si el control fallaba.

A su vez, la simulación se ha convertido en una actividad indispensable para toda industria. Gracias a su uso se puede experimentar todo un proceso, visualizarlo, analizar sus resultados, anticipar posibles mejoras. La calidad de los programas de simulación también aumenta diariamente, tanto en efectividad y precisión como en sencillez y manejabilidad, hasta el punto en que somos capaces de simular un proceso industrial en un ordenador medio, con bastante aproximación a la realidad.

Este auge en las nuevas tecnologías desemboca en la conocida *Industria 4.0*, que busca crear una fabricación más inteligente y segura, conectando Internet con los objetos físicos y dejando que tome decisiones para mejorar cualquier proceso industrial. Todo esto llevará a una mayor automatización, más consistente y eficiente. [5]

### 1.3. Estudio de necesidades y limitaciones

Para poder realizar este proyecto tan solo es necesario un ordenador, ya que se trabaja con dos softwares, como ya se ha mencionado.

Las limitaciones en este proyecto radican en la potencia y procesador del ordenador con el que se trabaja. En mi caso, he realizado la totalidad del proyecto en mi ordenador portátil, con una potencia media, motivo por el cual todo el proceso se ha retrasado considerablemente, debido a sobrecalentamientos de este, sobre todo en los últimos pasos de la parte práctica.

## 2. Justificación de la solución adoptada

### 2.1. Software utilizado

Para abordar este proyecto ha sido necesario el uso de dos programas: *Factory I/O* y *Codesys V3.5*. En este apartado se procede a introducir ambos programas, explicar brevemente su funcionamiento y lo que pueden ofrecer, así como la conexión entre ellos.

#### 2.1.1. Factory I/O

Se trata de un software de simulación 3D desarrollado por la empresa Real Games. En este, se simula una nave con maquinaria que podemos encontrar en la realidad en aplicaciones industriales.

Ha sido diseñado para un uso sencillo y visual, no obstante, los detalles están muy cuidados y puede construirse una fábrica rápidamente, conociendo el software un mínimo. Además, *Factory I/O* incluye varias escenas ya montadas, que representan procesos típicos en el mundo industrial. Ordenados de menor a mayor dificultad, el usuario puede hacer uso de ellos para aprender a usar el software, para usarlos en sus proyectos o bien para modificarlos y mejorarlos.

El uso más común de este software es el de plataforma de entrenamiento de PLC, ya que estos son los controladores más usados para la industria. Aun así, pueden usarse otras tecnologías como microcontroladores o Modbus.

La interfaz del programa (**Figura 2.1.**) es sencilla e intuitiva, cosa que facilita al usuario el aprendizaje y su posterior uso fluido. Cuenta con una ventana en la que aparecen todos los elementos (con imagen) que ofrece el simulador, así como un buscador. Se pueden seleccionar 3 tipos de cámara distintas, mostrarse las etiquetas de los elementos, cambiar sus nombres y configurar parámetros de ciertos elementos. [1]

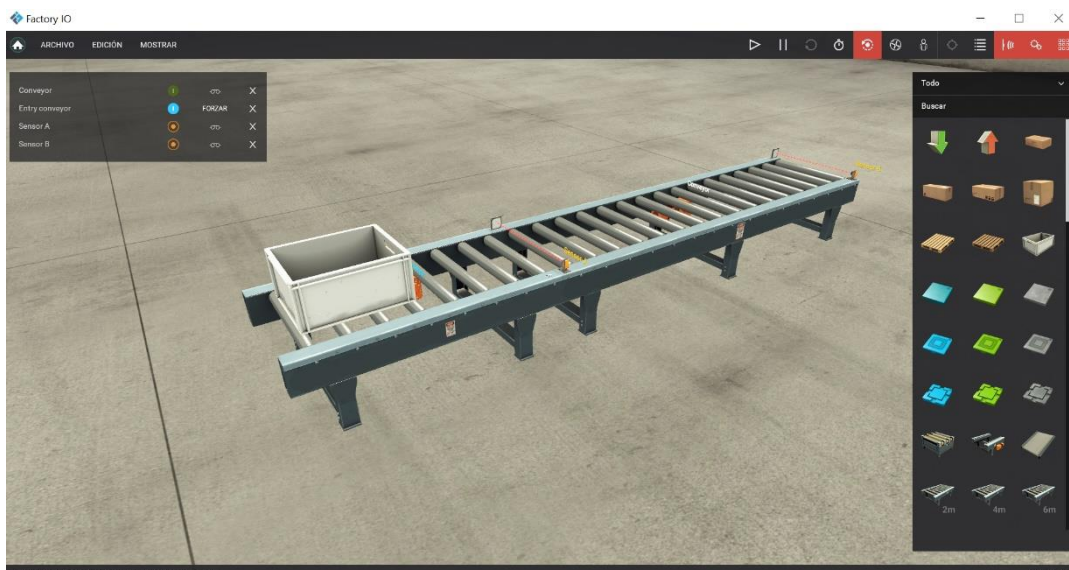


Figura 2. 1. Interfaz de *Factory I/O*.

### 2.1.2. Codesys V3.5

Codesys es una plataforma software creada para la automatización industrial. Utiliza el estándar de programación de PLC IEC 61131-3, que contiene hasta 5 lenguajes de programación de autómatas y controladores distintos:

- Lenguaje escalera (*Ladder*).
- Texto estructurado (ST).
- Bloques de función secuenciales (SFC).
- Diagrama de bloque de funciones (FBD).
- Lista de instrucciones (IL).

Son muchas las empresas importantes en el mundo de la automatización industrial las que usan este entorno, entre ellas ABB o Schneider Electric, debido a su interfaz abierta, su seguridad y su conexión a una plataforma administrativa en la nube. Además, consta de un simulador propio, un editor HMI para programar interfaces, complementos como CODESYS OPC UA o CODESYS Control para Raspberry Pi SL. [2]

Por todo esto, *Codesys* es el entorno de programación idóneo para llevar a cabo el desarrollo del control de la simulación.

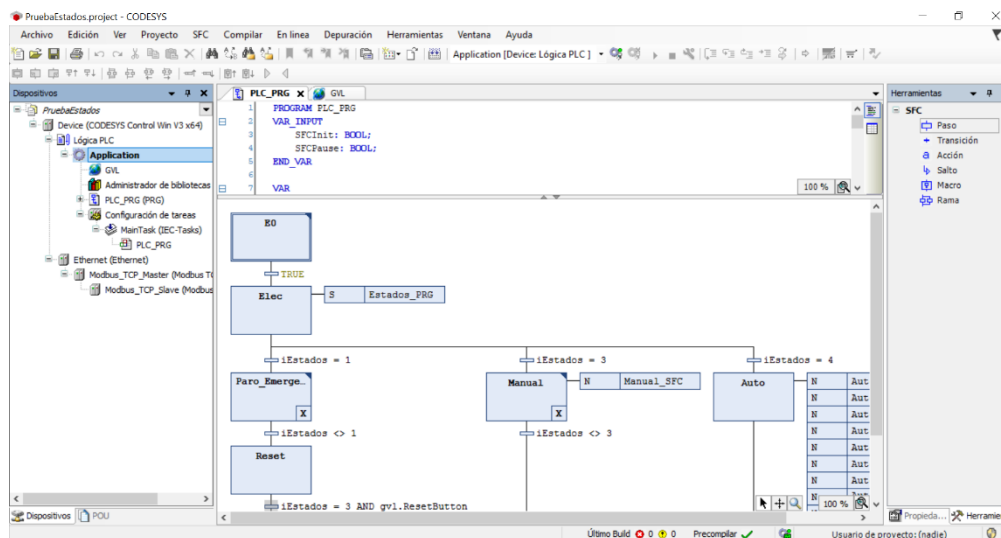


Figura 2. 2. Interfaz de Codesys.

### 2.1.3. Comunicación entre Codesys y Factory I/O

Las alternativas de conexión que ofrece *Factory I/O* son:

- OPC. Se trata de un estándar de comunicación industrial que permite que componentes de software individuales interactúen y compartan datos. La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura Cliente-servidor. [3]
- *Modbus* TCP/IP. Se trata de una variante *Modbus* que se conecta a través del puerto 502. Es un protocolo de comunicación basado en la arquitectura cliente/servidor. [4]

En el caso del presente proyecto se ha optado por la conexión *Modbus* TCP/IP. Para realizar la conexión entre ambos programas contamos con un tutorial en la página oficial de *Factory I/O*, en el que paso a paso explica con detalle cómo llevarla a cabo.



## 2.2. Elementos utilizados

Dentro de toda nave industrial encontramos una gran cantidad de equipos electrónicos, ya sean sensores o actuadores, paneles de control para el operario, maquinaria de distintas dimensiones, un largo etcétera.

Este apartado constará de un listado de los elementos que han sido necesarios durante el desarrollo del proceso, así como una breve descripción de estos.

### 2.2.1. Actuadores

- Emisor (*Emitter*)

Este actuador simula la emisión de un objeto, para su uso posterior en el programa. En la realidad esta tarea la desarrollaría un operario, una cinta transportadora, un elevador, etc.

En cuanto a las opciones que nos ofrece, se encuentran: el tipo de objeto que puede producir (existen hasta 14 opciones diferentes); el tipo de base en la que el objeto será emitido (3 opciones); la frecuencia máxima y mínima de emisión; la cantidad de objetos que deberá emitir hasta su parada (el programa soporta un máximo de 500 objetos en marcha); un selector de orientación aleatoria de la pieza y otro igual de posición.

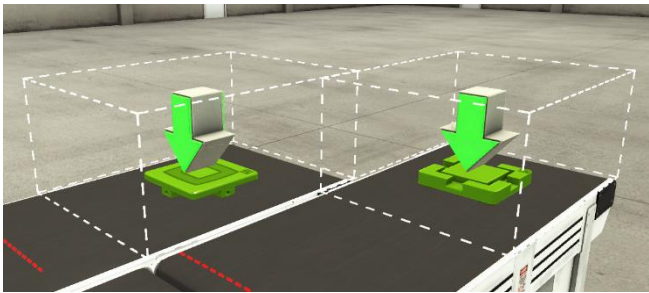


Figura 2. 3. *Emitter* de *Factory I/O*.

- Cinta transportadora (*Belt conveyor*)



Figura 2. 4. Cinta transportadora de *Factory I/O*.

Son usadas para transportar los objetos a lo largo de toda la escena.

Son accionadas mediante un motor y pueden ser digitales (1 sentido y una velocidad máxima de 0.6 m/s) o analógicas (2 sentidos y una velocidad máxima de 3 m/s).

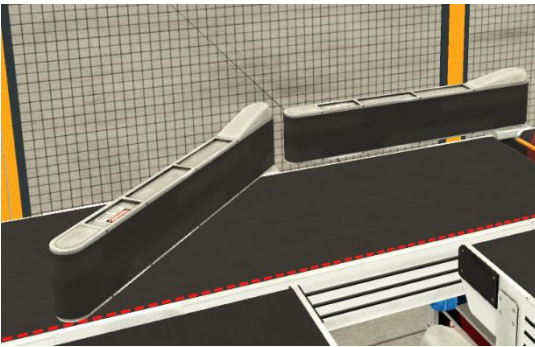
Las encontramos en 3 longitudes distintas: 2, 4 y 6 metros.

- Cinta transportadora curva (*Curved belt conveyor*)



Figura 2. 5. CT Curva de *Factory I/O*.

- Brazo separador (*Pivot arm sorter*)

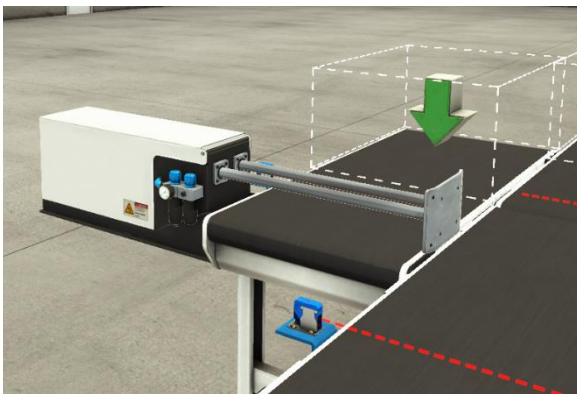


Este actuador permite desviar los objetos que están pasando por un determinado proceso, haciendo uso de una cinta accionada por un motor y puede ser configurado para girar a la derecha o a la izquierda 45 grados. Cuenta con una velocidad máxima en la cinta de 2 m/s y una velocidad angular en el brazo de 5 rad/s.

Figura 2. 6. Brazo separador de *Factory I/O*.

- Empujador (*Pusher*)

La función de este equipo es desplazar el objeto mediante un empujador neumático. Además, está equipado con dos sensores magnéticos que determinan el límite frontal y el de retroceso.



Este equipo puede ser configurado como digital (con una velocidad por defecto de 1 m/s) o analógico (alcanzando una velocidad máxima de 4 m/s).

La longitud que alcanza el empujador es de 0.9 m.

Figura 2. 7. *Pusher* de *Factory I/O*.

- Alineadores (*Aligners*)

Estas estructuras de metal sirven para colocar las piezas transportadas por la cinta de una forma concreta o para prevenir su posible caída.

Existen 4 tipos de alineadores y están disponibles en varios colores.

Además, su posición puede ajustarse con una precisión de 2.5 cm, obteniendo así una mayor libertad en su colocación.



Figura 2. 9. Alineadores tipo 2 y 3 de *Factory I/O*.

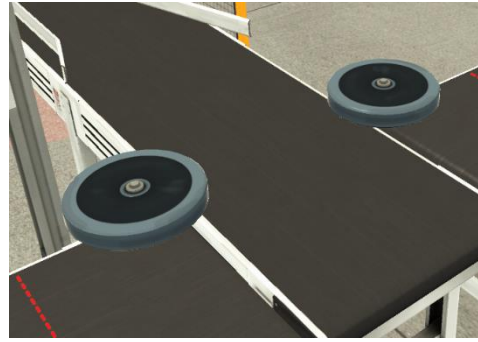


Figura 2. 8. Alineador tipo 4 de *Factory I/O*.

- Tolva de transporte (*Chute conveyor*)



Figura 2. 10. Tolva de *Factory I/O*.

Este elemento es utilizado para enviar los objetos desde las cintas transportadoras a otro punto con una altura inferior.

- *Pick & Place* de 2 ejes (*Two-Axis*)

La función de esta máquina es transportar un objeto de un determinado punto a otro. En este caso servirá para montar las tapas sobre las bases, así como para montar las cajas de almacenamiento sobre los pallets.

Este *Pick & Place* se compone de 2 ejes: el eje "X", que tiene una longitud máxima de 1.125 m y servirá para desplazar el objeto de una cinta a otra; y el eje

"Z", que tiene una longitud máxima de 0,625 m y servirá para poder agarrar el objeto y permitir que este no choque.

Además, cuenta con un agarre (*grab*) que puede rotar para orientar la pieza correctamente. La velocidad de movimiento máxima de ambos ejes es de 2 m/s.

En adición, contiene varios sensores que devuelven las señales de estado de cada movimiento realizado.

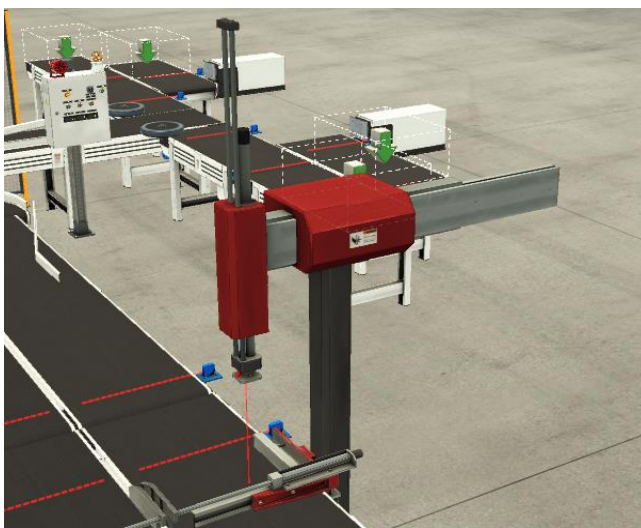
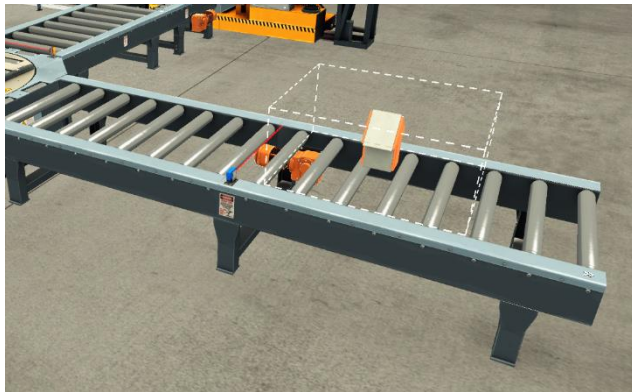


Figura 2. 11. *Pick & Place* 2-A de *Factory I/O*.



- Transportador de rodillos (*Roller conveyor*)

El funcionamiento es similar a la cinta transportadora, aunque esta es usada para transportar objetos de mayor peso.



Es idónea para transportar pallets.

Son accionadas mediante un motor y pueden ser digitales (1 o 2 sentidos y una velocidad máxima de 0.45 m/s) o analógicas (2 sentidos y una velocidad máxima de 0.8 m/s).

A su vez, las encontramos en 3 longitudes distintas: 2, 4 y 6 m.

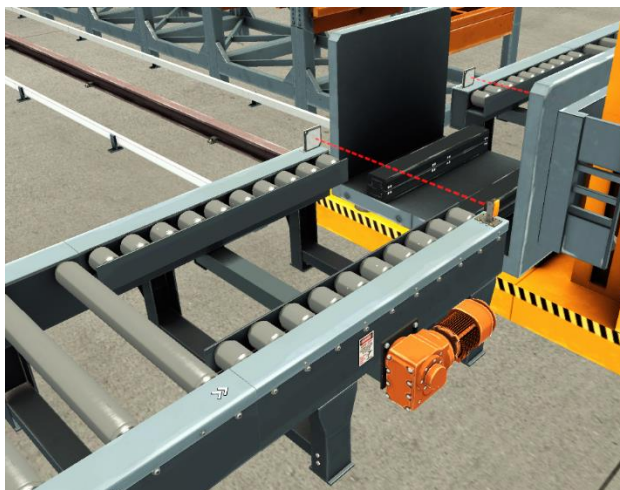
Figura 2. 12. Cinta Rodillos de *Factory I/O*.

- Transportador de rodillos curva (*Curved roller conveyor*)



Figura 2. 13. CR curva de *Factory I/O*.

- Transportador de carga (*Loading conveyor*)



Se suele usar para cargar y descargar los pallets en el transelevador.

Está compuesto por pequeños rodillos motorizados colocados en ambos laterales.

Puede configurarse como actuador digital (1 o 2 sentidos) y analógico.

Figura 2. 14. Transportador de carga de *Factory I/O*.

- Cinta giratoria (*Turntable*)

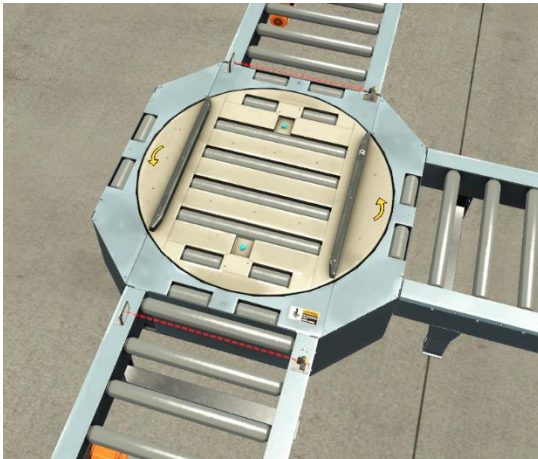


Figura 2. 15. *Turntable* de *Factory I/O*.

Esta cinta equipada también con rodillos es utilizada para cambiar de dirección la trayectoria de un pallet de carga.

Es capaz de girar 90 grados a una velocidad de 0.7 rad/s.

Además, cuenta con sensores ya instalados que indican el límite de giro de la cinta, así como sensores capacitivos en la entrada y salida de esta.

- *Pick & Place* de 3 ejes (*Three-Axis*)

La función es similar al de 2 ejes, ampliando en este caso el campo de movimiento considerablemente. Su funcionamiento en este proyecto será colocar las partes ya montadas en sus respectivas cajas.

Este *Pick & Place* se compone de 3 ejes: el eje "X", que tiene una longitud máxima de 2.125 m, será útil para alcanzar ambas partes, azules y verdes; el eje "Y", que tiene una longitud máxima de 1.25 m, nos permite desplazar las partes a las cajas; y el eje "Z", con una longitud máxima de 0.5 m, servirá de nuevo para poder agarrar el objeto y permitir que este no choque.

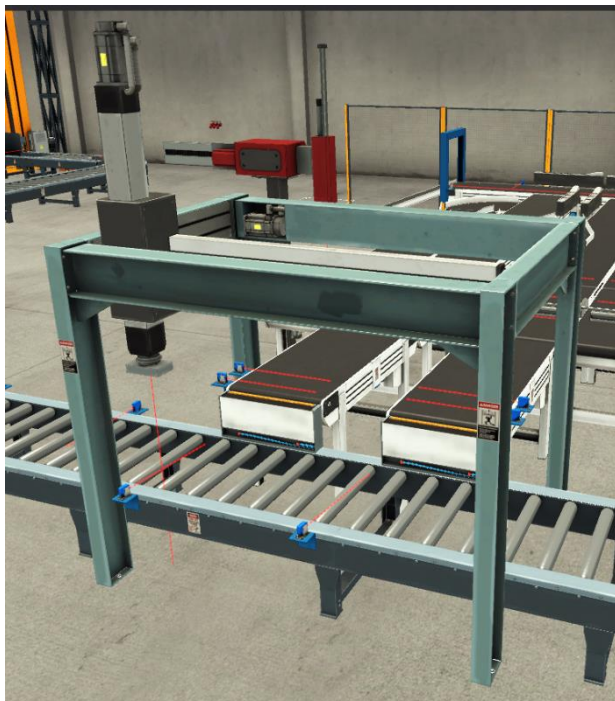


Figura 2. 16. *Pick & Place* de *Factory I/O*.

Además, cuenta con un agarre (*grab*) que puede rotar para orientar la pieza correctamente.

La velocidad de movimiento máxima de los ejes es de 1.5 m/s.

En adición, contiene varios sensores que devuelven las señales de estado de cada movimiento realizado.

Puede configurarse como digital (moviendo cada uno de sus ejes por pasos de 0.125 m) o como analógico (permite mover sus ejes mediante valores reales en un rango de 0 a 10 V).

- Transelevador y estantería/almacén (*Stacker Crane and Rack*)

Este robot se utiliza para almacenar automáticamente el material ya procesado encima de un pallet. Cuenta con un carro, una plataforma vertical y dos horquillas que permiten cargar y descargar el pallet.

Incluye varios sensores, que detectan la posición de las horquillas y sus dos límites, además de sensores de movimiento del carro.

Puede configurarse como numérico, analógico o digital. En este caso se configurará como numérico, con valores entre 1 y 54, cada uno asignado a una posición de la estantería (9x6 casillas). La posición 0 es la de parada, quedando el transelevador en la posición actual. La posición 55 es la de “descanso” (carga y descarga).

Las horquillas se desplazan una longitud máxima de 1.2 m hacia cada sentido, a una velocidad máxima de 0.5 m/s.

Los límites de desplazamiento del carro son de 6.625 m horizontales y de 10.5 m de altura, pudiendo alcanzar una velocidad máxima horizontal de 1.7 m/s y una vertical de 1.4 m/s.

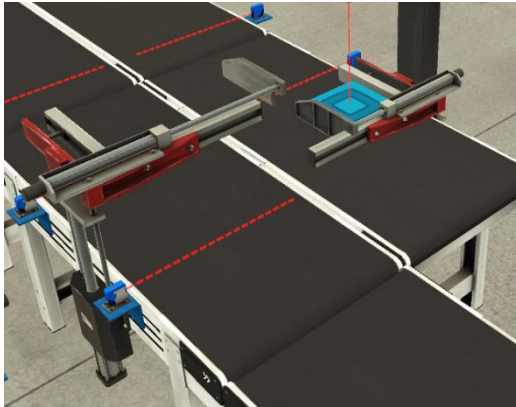


Figura 2. 17. Transelevador y estantería de *Factory I/O*.



- Barras de posicionamiento (*Positioning bars*)

Este sistema es usado para posicionar los objetos en una posición determinada repetidamente. Se suele usar junto a los sistemas de *Pick & Place*, consiguiendo que este pueda agarrar los objetos correctamente.



Puede configurarse para ser usado a la derecha o a la izquierda.

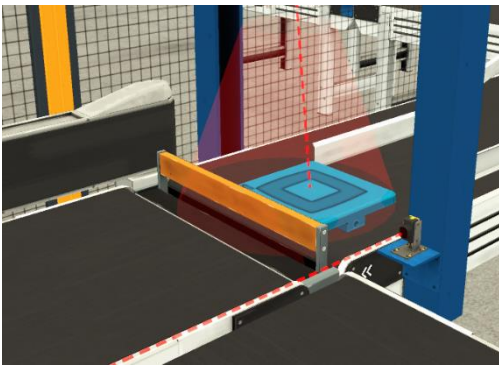
Además, este sistema es capaz de alzarse para dejar pasar el objeto.

También cuenta con varios sensores que devuelven el estado de los movimientos del sistema.

La altura máxima que alcanza es de 0.373 m y la apertura máxima de las barras es de 0.48 m.

Figura 2. 18. Barras de pos. de *Factory I/O*.

- Cuchilla de detención (*Stop Blade*)



Este actuador neumático consta de una cuchilla metálica que se alza para cortar el paso o acumular material.

Se suele colocar entre cintas transportadoras, permitiendo el paso de los objetos cuando está desactivada.

La altura máxima que alcanza es de 0.12 m.

Figura 2. 19. *Stop blade* de *Factory I/O*.

- Salida de material (*Remover*)

Semejante al caso del emisor, este actuador simula la salida de material de una zona determinada. En un caso real, este material podría ser almacenado o transportado a otra zona de la nave.

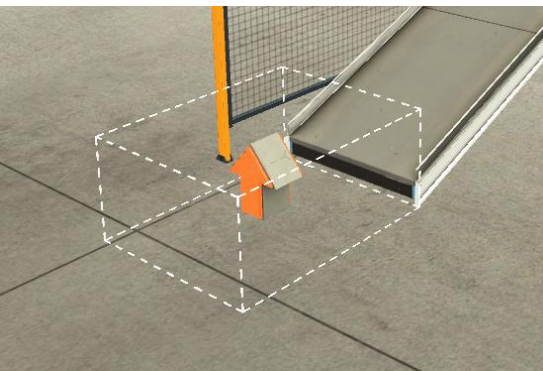
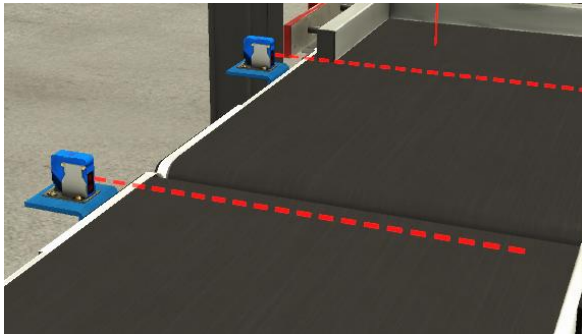


Figura 2. 20. *Remover* de *Factory I/O*.

### 2.2.2. Sensores

- Sensor de reflexión (*Diffuse sensor*)

Se trata de un sensor fotoeléctrico que utiliza la reflexión por difusión. Este sensor emite una luz infrarroja que se pierde en el espacio. En el momento en el que un



objeto la atraviesa se crea una reflexión por difusión que, incidiendo sobre el sensor, cambiará la señal de salida de la fotocélula.

El rango del sensor oscila entre 0 a 1.6 m.

Estos van posados sobre soportes metálicos.

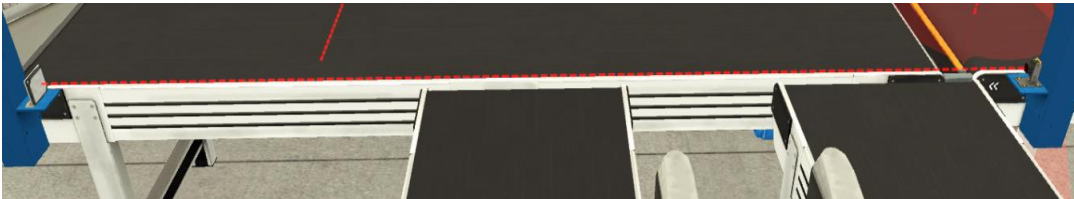
**Figura 2. 21.** *Diffuse sensor* de *Factory I/O*.

- Sensor retro-reflector (*Retroreflective sensor*)

En este caso, el sensor necesita estar alineado a la perfección con un reflector. Cuando un objeto corta la línea de detección el sensor pasará a 0. Por tanto, se trata de un sensor normalmente cerrado.

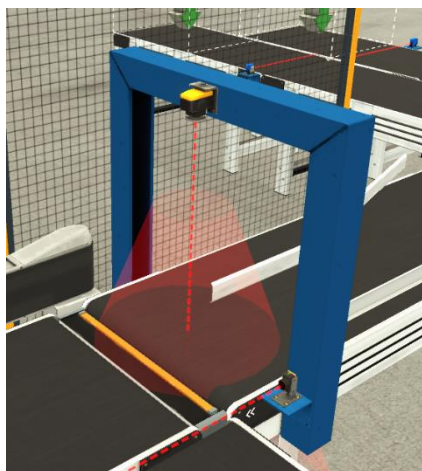
Tiene como ventaja su gran distancia de detección (hasta 6 m), así como su corto tiempo de respuesta.

Además, está equipado con 2 leds, verde y amarillo, que indican el alineamiento correcto y el estado de la detección, respectivamente.



**Figura 2. 22.** Sensor retro-reflector de *Factory I/O*.

- Sensor de visión (*Vision Sensor*)



Este sensor identifica los tipos de objetos que podemos emitir en la planta. Con la detección de cada objeto el sensor proporciona una salida diferente.

Puede ser configurado para proporcionar una salida digital, numérica o de número ID.

Suele ser utilizado para tareas de inspección o clasificación. En este caso será crucial para clasificar los objetos como tapas y bases, así como por sus colores.

Su rango de visión oscila entre los 0.3 y 2 m de longitud.

**Figura 2. 23.** Sensor de visión de *Factory I/O*.



### 2.2.3. Operadores

#### ▪ Cuadro eléctrico (*Electric switchboard*)

Se usa para diseñar un cuadro con operadores manuales y digitales.

Además, se ha implementado una sirena y una luz de emergencia, que serán activados en caso de error en el sistema.

En la **Figura 3.22**, se pueden observar los siguientes operadores (de arriba abajo y de izquierda a derecha):

- *Emergency Stop*, un botón de dos posiciones, usado en caso de emergencias. Es de tipo normalmente cerrado.
- Selector, usado para cambiar entre dos estados. En este caso, entre el modo manual y el automático.
- Pulsadores. Existen de 3 colores: verde, rojo y amarillo. En este caso se utilizarán para la función de *Start*, *Stop* y *Reset*.
- *Digital Display*, pantalla en la que se muestran valores numéricos durante la simulación. En este caso, son utilizados para contabilizar objetos mediante contadores.



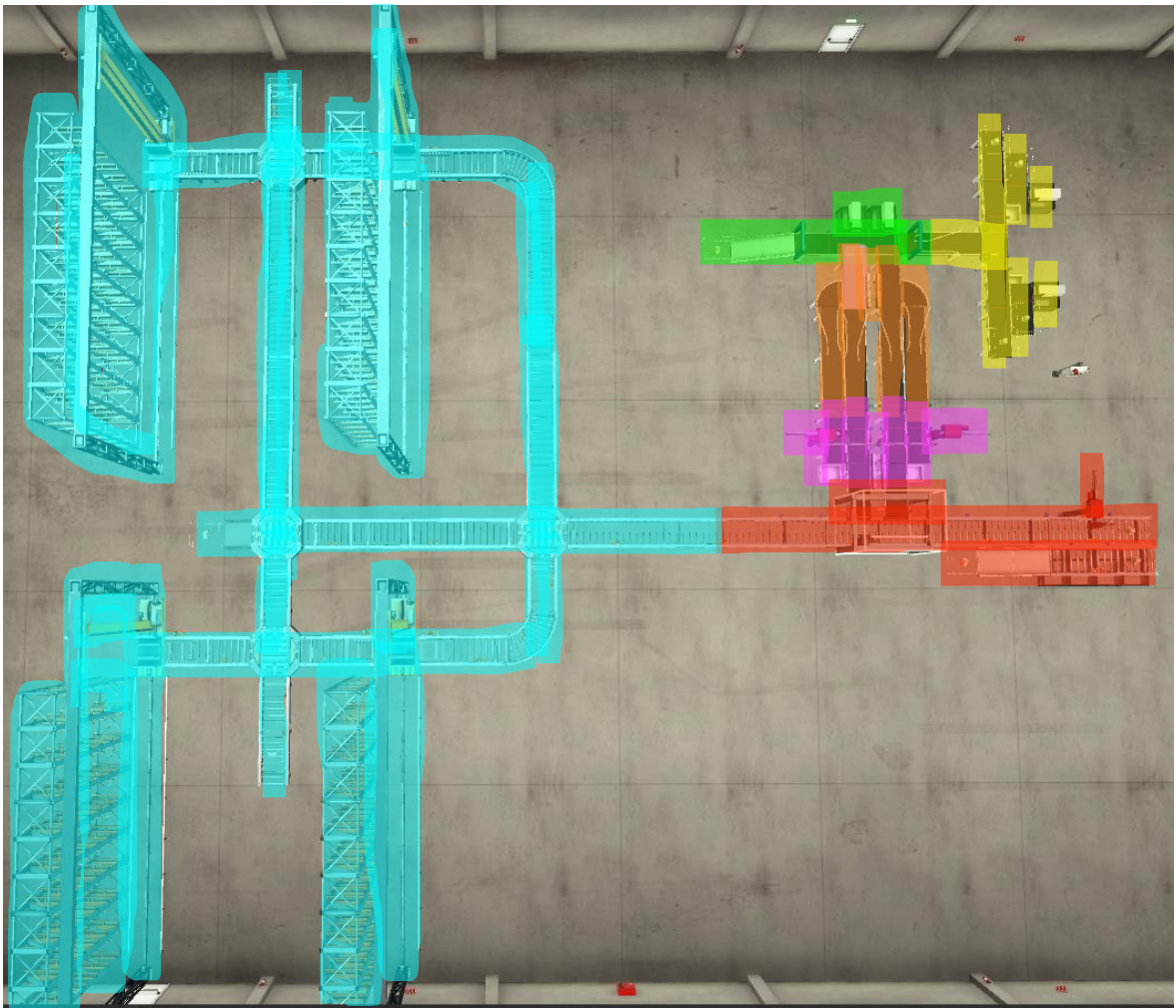
**Figura 2. 24.** Cuadro eléctrico con operadores de *Factory I/O*.

### 2.3. Descripción de la planta

En este apartado se explicará de manera breve el funcionamiento de la planta, sin entrar en detalle. En adición, servirá para mostrar una vista general de la planta y comenzar a entenderla.

En primer lugar, la planta se ha dividido en 6 zonas claramente diferenciadas, para entender mejor el funcionamiento de todo el sistema y para simplificar el control. Estas se encuentran marcadas y diferenciadas por colores en la **Figura 2.25.** del siguiente modo:

- Zona 1 (amarillo): *Production Zone.*
- Zona 2 (verde): *Sorting Station Zone.*
- Zona 3 (naranja): *Separation Zone.*
- Zona 4 (morado): *Assambler Zone.*
- Zona 5 (rojo): *Box Zone.*
- Zona 6 (azul): *WareHouse Zone.*



**Figura 2. 25.** Vista general de la planta separada por zonas de *Factory I/O.*

El proceso comienza en la zona 1, en esta se tratará la materia prima, distinguiendo entre los colores azul y verde, para transformarla en dos piezas distintas: tapas y bases. De este modo, se producirán un total de 4 piezas diferentes: bases azules, bases verdes, tapas azules y tapas verdes. Como se puede observar en la **Figura 2.26.**, las piezas se producen mediante cuatro *Emitters*, esto es debido a la imposibilidad de haber podido añadir centros de mecanizado que trataran la materia prima, ya que el programa se ralentizaba demasiado o incluso se paraba. Dicho esto, esta es la única modificación que la planta simulada ha sufrido.

Una vez las piezas son emitidas en la zona 1, estas saldrán de una en una por las cintas transportadoras, llegando a la zona 2. En la entrada pasarán por un sensor de visión, capaz de clasificar qué tipo de pieza pasa por él, así como de detectar posibles fallos/defectos en las piezas. Después se desplazarán por la cinta transportadora llegando hasta los *Pushers*, que empujarán la pieza hacia la siguiente zona. En caso de detectar un defecto en la pieza, esta avanzará hasta un *Remover*, situado al final de la cinta transportadora de la zona 2.

La zona 3 será la encargada de separar las piezas en cuatro cintas transportadores diferentes, con la ayuda del sensor de visión de la anterior zona y de los brazos separadores presentes en las cintas del medio.

Las piezas van transportándose hasta llegar a la zona 4. En esta, se irán acomodando en las barras de posicionamiento, situadas en la proximidad del *Pick & Place* de dos ejes. Cuando base y tapa del mismo color se encuentren en la posición fijada por las barras, el *Pick & Place* montará la tapa encima, creando la pieza deseada. Seguidamente, la pieza se transportará hasta el final de la cinta transportadora, donde quedará a la espera de la acción de la próxima zona.

La zona 5 agrupa dos funciones: en primer lugar, se encuentra la “palletizadora”, que consta de un *Pick & Place* de dos ejes nuevamente encargado de montar cajas encima de pallets, que seguidamente se trasladarán mediante una cinta de rodillos hasta el punto de recogida de ambas partes (verdes y azules); en segundo lugar, se dispone de un *Pick & Place* de tres ejes, encargado de recoger las partes procedentes de la zona 4 y depositarlas en las cajas que vienen de esta misma estación.

Cuando las cajas hayan sido rellenas en su totalidad, estas se desplazarán hasta la última zona, la 6. En esta, cada caja seguirá un rumbo distinto, llegando hasta sus estanterías correspondientes, que mediante la acción de un transelevador serán almacenadas, preparadas para su posterior distribución.

Además, los almacenes podrán vaciarse una vez se hayan llenado, cumpliendo ciertas circunstancias que se comentarán en detalle en siguientes apartados.



Figura 2. 26. Vista general de la planta de *Factory I/O*.



### 3. Descripción detallada de la solución adoptada

En el siguiente apartado se tratará con detalle la solución adoptada en el diseño y control de la planta, conseguida a través de todos elementos mencionados anteriormente.

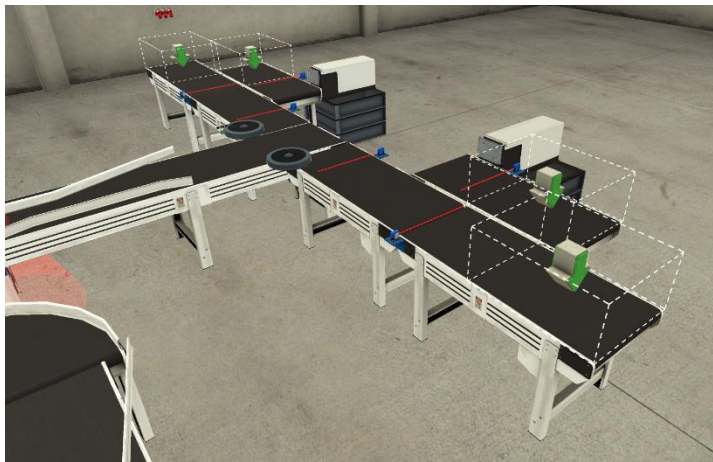
#### 3.1. Simulación de la planta

Como se ha comentado recientemente, la planta se divide en 6 zonas, que, han sido diseñadas independientemente, con la condición de unirse correctamente con las zonas colindantes, por supuesto.

La zona 1 (**Figura 3.1.**) se compone de 7 cintas transportadoras, 2 *pushers*, varios alineadores para asegurar el correcto seguimiento en la trayectoria de las piezas y 6 sensores de reflexión difusa.

Como ya se ha mencionado, los 4 emisores reemplazan a los centros de mecanizado ofrecidos por el software, realizando exactamente la misma tarea que estos y ocupando menos espacio en la memoria del ordenador.

Cada tipo de pieza cuenta con su propia cinta transportadora, permitiendo salir a cada pieza por separado, entre intervalos de tiempo programados. Después, cada uno de los dos colores de pieza cuenta con una cinta transportadora compartida, que, finalmente, desembocan en la última cinta, encargada de transportar todas las piezas hacia la siguiente zona.



**Figura 3. 1.** Vista de la zona 1 de *Factory I/O*.

Ambos *pushers* se encargan de desplazar las tapas de cada color hacia la cinta transportadora compartida.

Por último, los sensores de reflexión se encargan de detectar la salida de las piezas de cada cinta transportadora, con el objetivo de notificar al sistema de control la posición de estas, permitiendo accionar o desactivar los *pushers* y cintas correspondientes.

Seguidamente, se encuentra la zona 2 (**Figura 3.2.**), que se compone de una cinta transportadora, dos *pushers*, una tolva, 3 sensores de reflexión difusa, un sensor retro-reflector, el sensor de visión y un *remover* a final de zona.

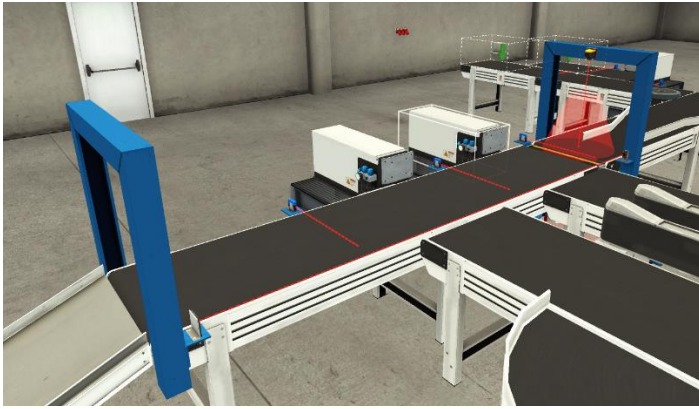


Figura 3. 2. Vista de la zona 2 de *Factory I/O*.

El elemento más relevante de esta zona es el sensor de visión. Se trata de un componente con un precio notablemente elevado y aun que el simulador no lo permita, este tiene la función de revisar cada pieza que pasa a través de él, inspeccionándolo e informando del estado de estas (tipo de pieza, defectos, etc.). Es por ello que la planta presenta esta distribución, ya que se hacen pasar todas las piezas por este único sensor, en lugar de transportar cada pieza por una cinta directamente (opción más fácil para el control).

Los empujadores, con ayuda de los sensores de reflexión, desplazan las piezas de cada color hacia la cinta transportadora correspondiente, localizadas en la siguiente zona.

El *remover*, situado al extremo inferior de la tolva, se encarga de recoger las piezas defectuosas (en el caso del simulador, la materia prima hará la función de pieza defectuosa).

Finalmente, el sensor retro-reflector cubre toda la entrada a la siguiente zona, encargado de contabilizar las piezas que lo cruzan.

La zona 3 (**Figura 3.3.**) consta de 4 cintas transportadoras, 2 cintas curvas, 2 brazos separadores y 4 sensores de reflexión difusa, además de varios alineadores, que aseguran la posición correcta de las piezas para la zona posterior.

Con la ayuda de la detección del sensor de visión, los brazos separadores se encargan de desplazar las tapas hacia las cintas curvas o dejar pasar las bases, separando de nuevo los 4 tipos de piezas.

Finalmente, los sensores colocados en cada una de las cuatro cintas detectarán la salida de cada pieza a la siguiente zona.

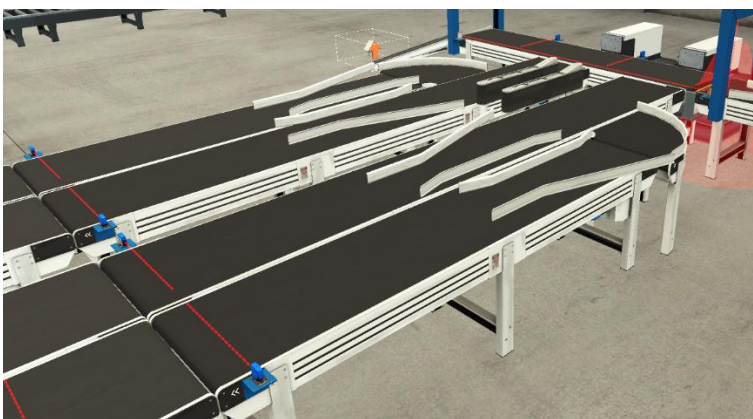
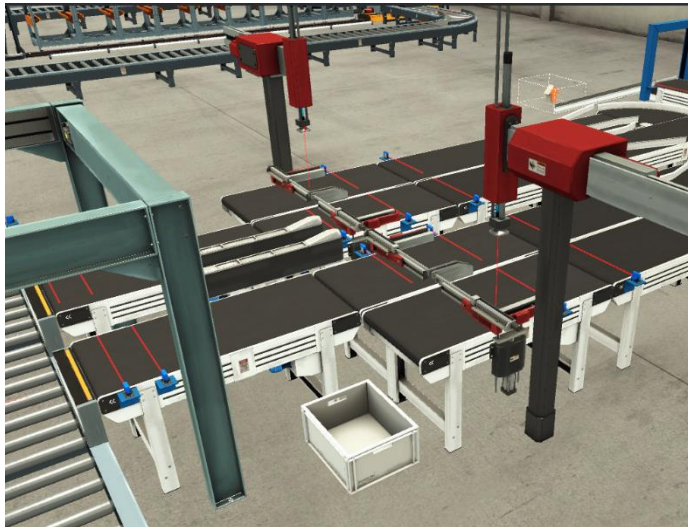


Figura 3. 3. Vista de la zona 3 de *Factory I/O*.

A continuación, se encuentra la zona 4 (**Figura 3.4.**), compuesta por 6 cintas transportadoras, 2 cuchillas de detención, 4 barras de posicionamiento, 2 *Pick & Place* de 2 ejes, 2 brazos separadores y 10 sensores de reflexión.



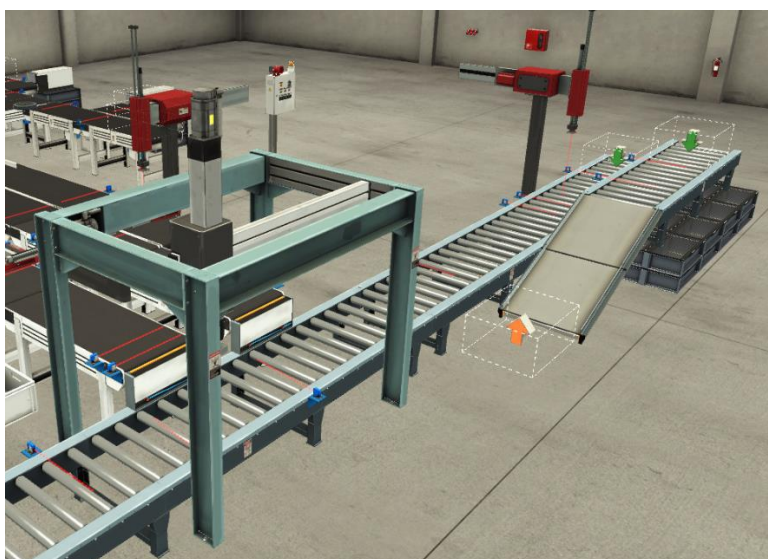
**Figura 3. 4.** Vista de la zona 4 de *Factory I/O*.

Los primeros sensores aseguran la posición en las barras de cada una de las piezas, seguidamente, el segundo par de sensores detectan la salida de la pieza ya montada por las cintas del medio, llegando a los últimos sensores, que detectan y aseguran que la pieza se encuentre en la posición final, preparada para la recogida.

Los brazos separadores tienen la única función de limpiar la zona, una vez el proceso ha terminado o en un rearme del sistema, llevando las piezas hasta las cajas de recogida, situadas en el suelo.

En último lugar, las cuchillas tienen la función de evitar la caída de las piezas, asegurando la correcta posición de estas.

La zona 5 (**Figura 3.5.**) la forman 5 cintas de rodillos, 2 *Pick & Place* (de 2 y de 3 ejes), 9 sensores de reflexión y de nuevo, una tolva y un *remover*.



**Figura 3. 5.** Vista de la zona 5 de *Factory I/O*.



Los sensores se encargan de detectar y contabilizar los pallets y cajas producidas, además de proporcionar al sistema de control la posición de estas, permitiendo transportar y parar el pallet por las cintas de rodillos.

El *remove* se encarga de recoger las cajas restantes una vez el proceso ha terminado o, tras una parada de emergencia, el sistema debe limpiarse.

El *Pick & Place* de 3 ejes está situado de forma que llegue a la posición de las piezas en ambas cintas transportadoras, además de a la posición de las cajas, marcadas con los dos sensores de reflexión, que circulan por las cintas de rodillos.

El último sensor, situado en la cinta de rodillos final, detecta la salida de las cajas cargadas, y da paso al accionamiento de la siguiente y última zona.

Finalmente, la zona 6 (**Figura 3.6.** y **Figura 3.7.**) está formada por 17 cintas de rodillos, dos cintas curvas, 4 cintas giratorias, 6 transportadores de carga y descarga, 4 transelevadores y 4 almacenes de 54 casillas, 16 sensores retro-reflectivos, 3 *remove* y 1 tolva.



Figura 3. 6. Vista de la zona 6 de *Factory I/O*.

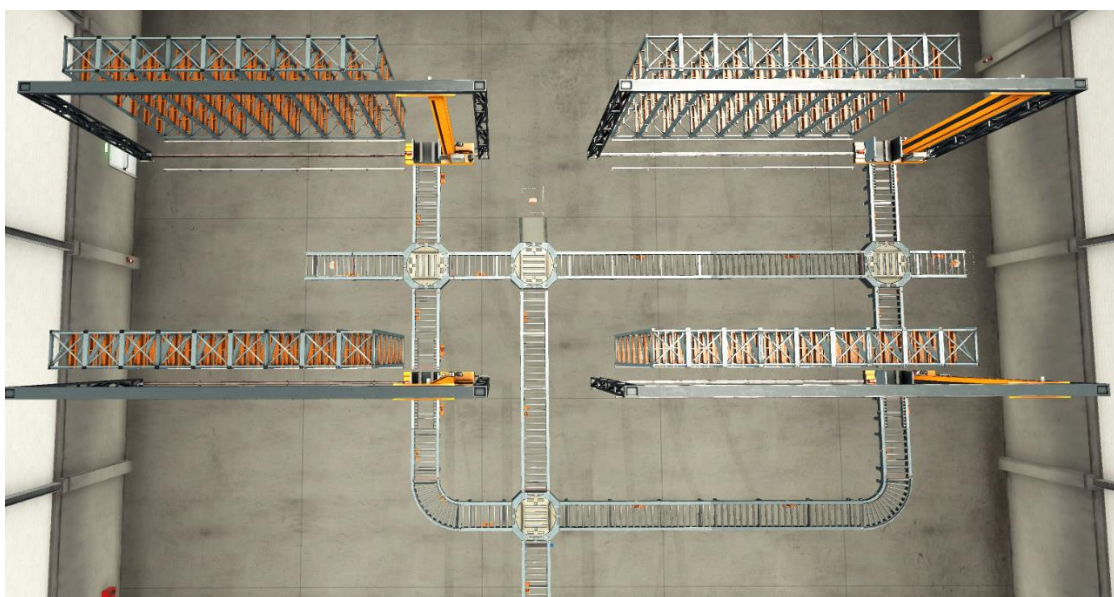


Figura 3. 7. Vista superior de la zona 6 de *Factory I/O*.



La disposición de esta zona está diseñada para permitir el llenado del almacén 1 (el más pegado a las demás zonas) de cualquiera de ambos colores, mientras el almacén 2 se descarga.

Los *remover*, situados entre ambos almacenes, se encargan de recoger las cajas descargadas de los almacenes, para su posterior distribución. Esto se logra gracias a las cintas giratorias y a las cintas de rodillos, situadas entre ambos almacenes. Tanto las cintas de rodillos, como los transportadores de carga, unidos a los segundos almacenes, constan de una configuración digital biestable, permitiendo accionar el motor en ambos sentidos (+, para la carga; -, para la descarga).

El correcto funcionamiento de las cintas giratorias depende tanto de la programación de los almacenes, como de la colocación y uso de todos los sensores.

Para finalizar, la tolva situada en la segunda cinta giratoria del medio, junto con todas las cintas de rodillos, aseguran la limpieza de las cajas que provengan de la anterior zona, en caso de rearme del sistema.

## 3.2. Diseño del control

Como ya se ha comentado, el control lo realizamos mediante el software *Codesys*. El diseño del control en este proyecto está basado en GRAFCET, un diagrama funcional que describe los pasos o el proceso automatizado que debe seguir el autómata. Se trata de una herramienta imprescindible cuando aumenta la complejidad a la hora de programar un autómata, tanto por la claridad visual que ofrece como por su gran utilidad y versatilidad. [6]

Todos los diagramas de GRAFCET cumplen con la norma **UNE-EN 60848:2013**, ya que así lo asegura el uso de *Codesys*.

### 3.2.1. GRAFCET principal

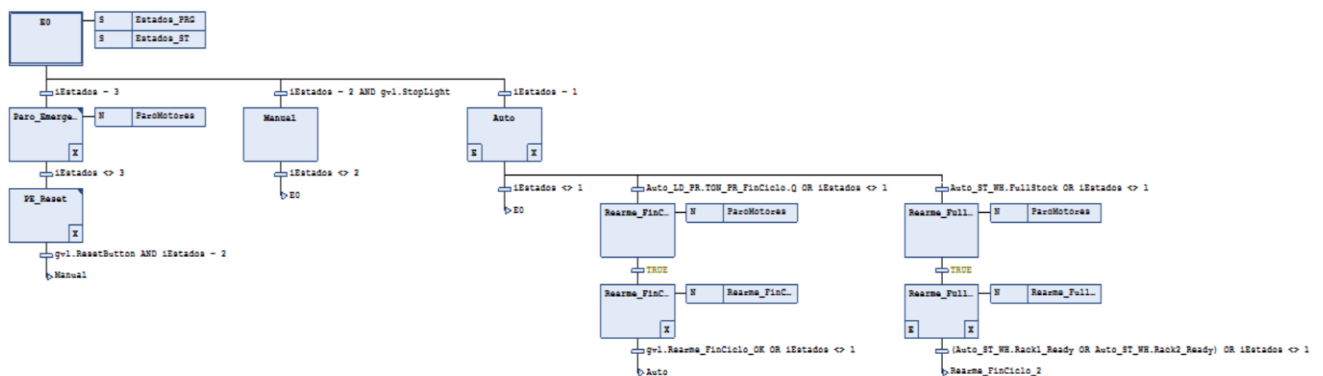


Figura 3. 8. GRAFCET principal de *Codesys*.

El diagrama principal (**Figura 3.8.**) se basa en la elección de 3 estados básicos: automático, manual y emergencia. El automático y manual se eligen a través de un selector situado en el cuadro eléctrico de la planta, así como en la interfaz para el operario. El estado de emergencia se activa cuando se presiona el pulsador de parada de emergencia, situado de igual manera en el cuadro.

El cambio de estados se consigue con el Ladder *Estados\_PRG* (**Figura 3.9.**). Usando el bloque *MOVE* de *Codesys*, se consigue variar el valor de la variable *iEstados*. Cuando se pulse la parada de emergencia *gv1.EmergencyStop*, la variable *iEstados* tomará el valor de 3; seleccionando el modo automático *gv1.AutoMode* y con la parada de emergencia desactivada la variable *iEstados* acogerá el valor de 1; del mismo modo que el anterior pero seleccionando el modo manual *gv1.ManualMode* tomará el valor de 2.

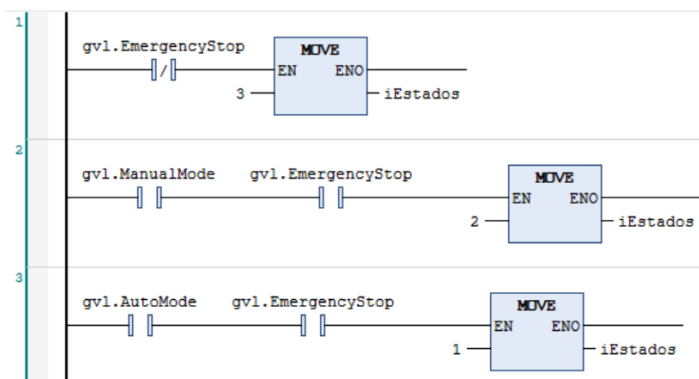


Figura 3. 9. Tres primeras líneas de *Estados\_PRG* de *Codesys*.

Como se puede observar todas las transiciones pueden activarse al cambiar de estado, así se consigue poder activar el paro de emergencia en todo momento.

La etapa del *reset* del paro de emergencia (*PE\_Reset*) tan solo puede avanzar una vez se ha confirmado el *reset* (*gvl.ResetButton*) y se ha seleccionado el modo Manual, de esta forma el operario podrá revisar cualquier problema que haya podido suceder en el sistema.

El diseño de las mencionadas etapas se logra a través del estudio de la guía GEMMA (Guía de Estudio de los Modos de Marcha y Parada) [7]. Tras la revisión de esta y el estudio del funcionamiento de nuestra planta, se llega a la inclusión de 6 estados básicos:

- **F1. Producción normal.** “Estado en que la máquina produce normalmente. Es el estado más importante y en el se deben realizar las tareas por las cuales la máquina ha sido construida.” Corresponde a la etapa *Auto*.
- **F4. Marchas de verificación sin orden.** “En este caso la máquina, normalmente por orden del operario, puede realizar cualquier movimiento o unos determinados movimientos preestablecidos. Es el denominado control manual y se utiliza para funciones de mantenimiento y verificación.” Corresponde a la etapa *Manual*.
- **A1. Paradas en el estado inicial.** “Se corresponde con el estado de reposo de la máquina. La máquina normalmente se representa en este estado en los planos de construcción y en los esquemas eléctricos.” Corresponde a la etapa inicial *E0*.
- **A2. Parada solicitada al final del ciclo.** “Es un estado transitorio en que la máquina, que hasta el momento estaba produciendo normalmente, debe producir solo hasta acabar el ciclo y pasar a estar parada en el estado inicial.” En este caso la parada de fin de ciclo se incluye en la etapa *Auto*.
- **A5. Preparación para la puesta en marcha después de un defecto.** “Es en este estado donde se procede a todas las operaciones, de: vaciado, limpieza, reposición de un determinado producto, ..., necesarias para la puesta de nuevo en funcionamiento de la máquina después de un defecto.” Corresponde a las etapas de rearme y *PE\_Reset*.
- **A6. Puesta del sistema en el estado inicial.** “En este estado se realiza el retorno del sistema al estado inicial (reinicio). El retorno puede ser manual (coincidiendo con F4) o automático.” En este caso coincide con la etapa *Manual*.
- **D1. Parada de emergencia.** “Es el estado, que se consigue después de una parada de emergencia, en donde deben tenerse en cuenta tanto las paradas como los procedimientos y precauciones necesarias para evitar o limitar las consecuencias debidas a defectos.” Corresponde a la etapa *Paro\_Emergencia*.

Además, el estudio de la guía GEMMA se representa mediante un esquema, que indica tanto las etapas como las transiciones entre ellas (**Figura 3.10.**).

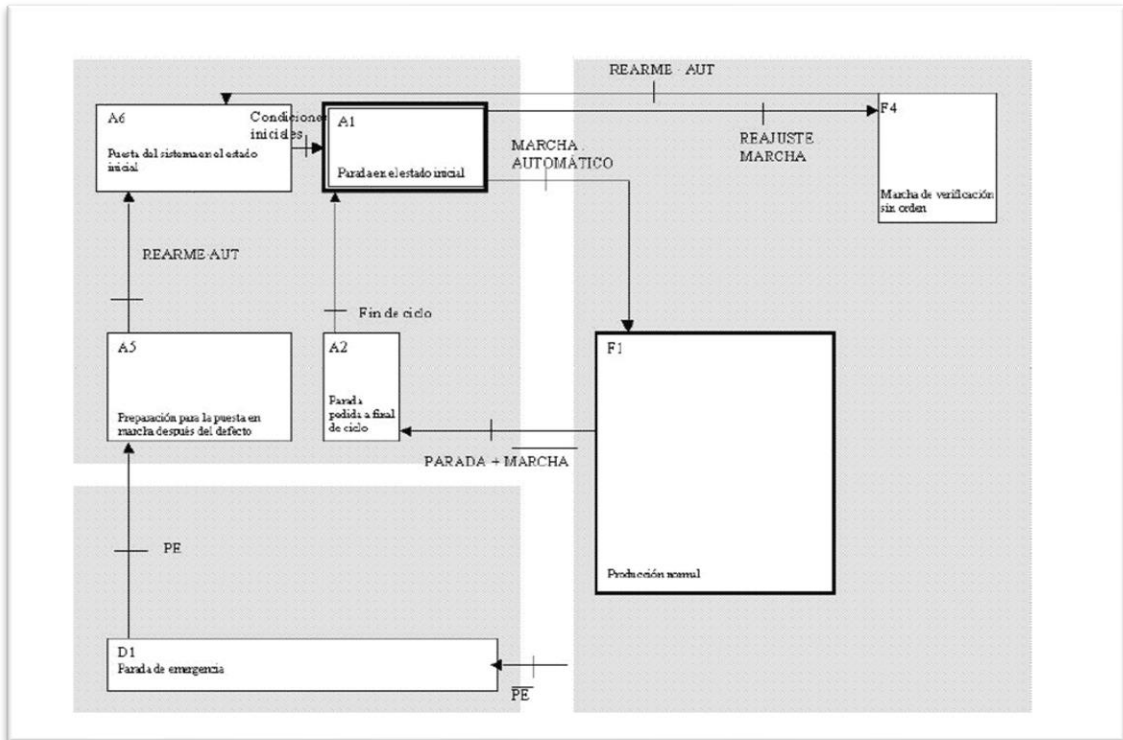


Figura 3. 10. Esquema de la guía GEMMA.

### 3.2.2. Modo automático

El modo automático corresponde al estado más importante de este proyecto. En este, la planta funcionará de manera totalmente automatizada, siempre con la supervisión de los operarios, que podrán parar el proceso o presionar el botón de emergencia en cualquier momento.

Una vez este modo es seleccionado mediante el selector de la planta o la interfaz del operario, el sistema quedará a la espera de accionar el pulsador de *Start*. Todos los GRAFCET de este modo empezarán a correr desde la etapa inicial.

Esta etapa cuenta con una acción de entrada y otra de salida, ambas programadas en ST. La de salida fuerza la inicialización de todos los GRAFCET del modo *Auto*, de manera que todos quedan a la espera de iniciar de nuevo este modo. Así, en la acción de entrada se deshabilita el forzado, pudiendo los GRAFCET correr de nuevo.

Como se puede observar en la **Figura 3.8.**, este modo se abandona de tres maneras: cuando cambia el estado del GRAFCET principal; cuando se ha presionado el botón de fin de ciclo y el temporizador *TON\_PR\_FinCiclo* ha finalizado; y una vez ambos almacenes de cada color se han llenado.

En las dos últimas opciones es necesario un rearme del sistema, esto quiere decir, una serie de acciones que permitan a nuestra planta volver al estado inicial y poder continuar con la producción.

Cuando el fin de ciclo ha sido activado, el sistema producirá la última tanda y una vez finalizada todos los actuadores se desactivarán. El rearme es automático y limpiará todas las zonas, dejando el sistema preparado para una nueva producción. Tras la supervisión de un operario, podrá presionarse el botón de *Rearme\_FinCiclo\_OK*, y el sistema volverá directamente al modo automático.

En el caso del llenado de los almacenes, el sistema parará todos los actuadores de la planta, dando la opción al operario de descargar un almacén de cada color mediante el uso de los botones *WH\_Unload\_Blue1*, *WH\_Unload\_Blue2*, *WH\_Unload\_Green1*, *WH\_Unload\_Green2*. El sistema está diseñado para permitir el vaciado de un solo almacén de cada color simultáneamente. Una vez, el almacén haya quedado vacío, se procederá al rearme anteriormente mencionado.

En los apartados siguientes se explicará detalladamente el funcionamiento de cada zona.

#### 3.2.2.1. Zona 1: *Production*

El funcionamiento de esta zona se basa en el uso de 2 GRAFCET: *Auto\_SFC\_PR* y *Auto\_SFC\_PR\_VisionError*.

El primero es el encargado de emitir las piezas de una en una, en este caso, siguiendo el orden: base azul, tapa azul, tapa verde y base verde. Además, se asegura de dejar el tiempo suficiente entre cada emisión, respetando así el funcionamiento de zonas posteriores.

Cuenta con una primera divergencia (**Figura 3.11.**) que tiene la función de repetir el proceso cíclicamente si el fin de ciclo no ha sido activado o, por el contrario, sí lo ha sido pero el lote de 3 piezas de cada no ha sido emitido aún. De este modo, si el lote ha sido completado y el fin de ciclo está activo, el proceso terminará, parando todas las cintas transportadoras de esta zona.

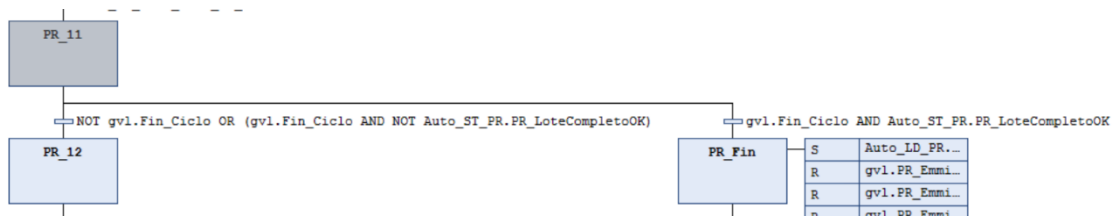


Figura 3. 11. Divergencia 1 de *Auto\_SFC\_PR* de Codesys.

La segunda divergencia (**Figura 3.12.**) se encarga de esperar a que la tanda de 4 piezas producidas haya llegado a la tercera zona (sensor al salir de la zona 2). En caso de que el sensor de visión de la zona 2 haya detectado algún defecto, la etapa quedaría congelada y el segundo GRAFCET de la presente zona es el encargado de emitir otra pieza, sustituyendo a la defectuosa y, dejando continuar el flujo del primer GRAFCET. En el raro caso de localizar defectos en la totalidad de la tanda de 4 piezas emitidas, el GRAFCET seguiría su camino por la rama derecha, llegando de nuevo a la primera etapa.

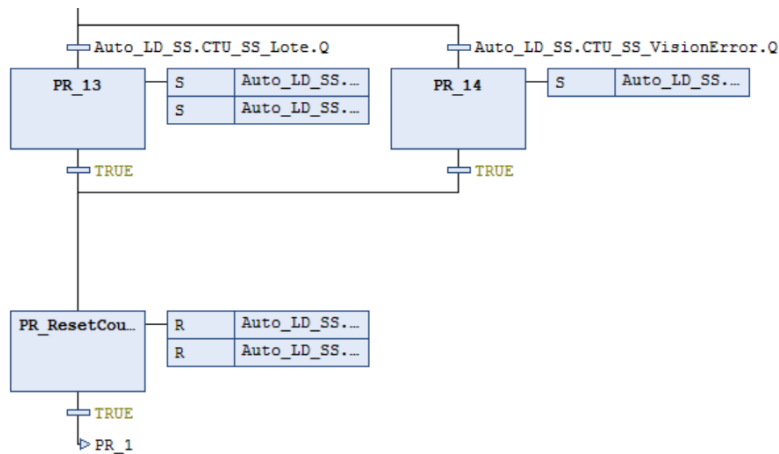


Figura 3. 12. Divergencia 2 de *Auto\_SFC\_PR* de Codesys.

Para controlar los lotes de 3 piezas de cada se ha utilizado un contador y una función para calcular el resto de la división (**Figura 3.13.**). La variable *CountProduction* se activa en la primera etapa del GRAFCET, sumando una unidad en el contador *CTU\_Production*. El valor del contador se divide entre 3, sacando el resto en la variable *CTU\_Production*. En el archivo *Auto\_ST\_PR* se consigue activar la variable *PR\_LoteCompletoOK* cuando el resto es igual a 0.

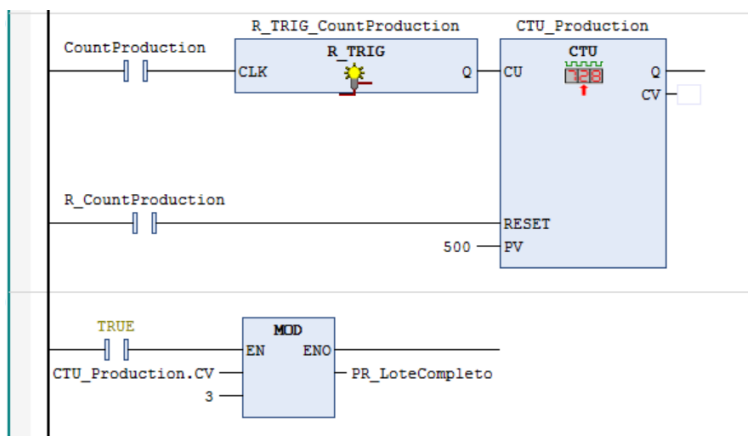


Figura 3. 13. Control de lotes de *Auto\_LD\_PR* de Codesys.

El segundo GRAFCET se encarga de reponer la pieza que ha salido defectuosa de producción y no ha llegado a pasar a la zona 3. Este comienza cuando el temporizador *TON\_SS\_NonEqual* activa su salida.

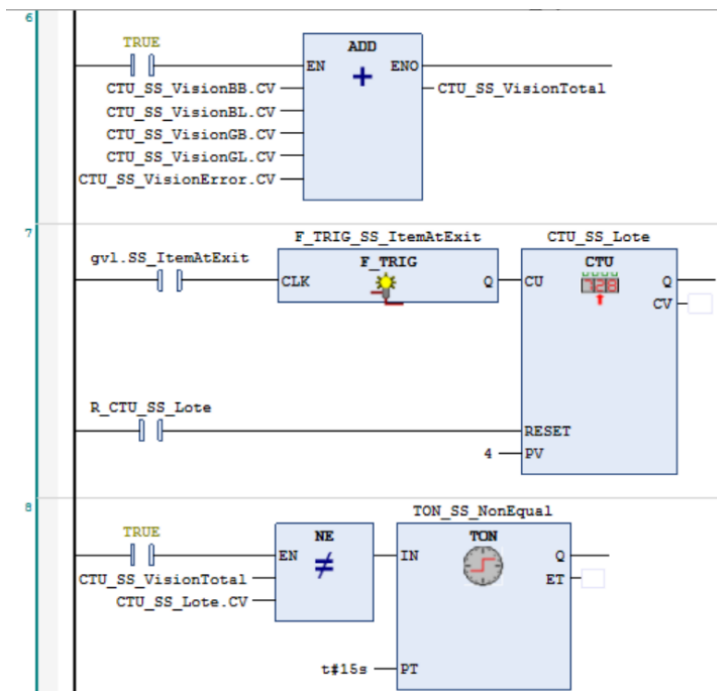


Figura 3. 14. Activar temporizador *TON\_SS\_NonEqual* de *Auto\_LD\_SS* de *Codesys*.

Como se puede observar en la **Figura 3.14.**, el temporizador activa su salida una vez se cumpla la desigualdad entre los valores de *CTU\_SS\_VisionTotal* y *CTU\_SS\_Lote.CV*. El primer valor corresponde al sumatorio de las piezas que pasan por el sensor de visión, mientras que el segundo corresponde a las piezas que pasan a la zona 3 (las piezas no defectuosas). De modo que, si estos dos valores no coinciden durante un periodo de tiempo de 15 segundos, significará que el sensor de visión ha detectado algún error en cualquiera de las piezas. Aquí entra en acción el segundo GRAFCET.

Este consta de una divergencia que reúne todas las posibilidades de detección de error del sensor de visión. Sirve de ejemplo la **Figura 3.15.**, esta transición se activará cuando el sensor de visión no haya detectado una base azul (*BB: Blue Base*). Seguidamente, se emitirá una pieza de este tipo en la zona de producción, quedando a la espera de la calidad de la pieza. Si es correcta, esta pasará a la zona 3 y el lote se completará, pasando por la rama izquierda de la divergencia y volviendo a la etapa inicial, por el contrario, si el sensor detectara un defecto de nuevo, se volvería a la etapa *PRV\_0*, repitiendo el mismo proceso anterior.

En la etapa *PRV\_0* se activa el temporizador *TON\_PR\_VisionError*, el cual permite reposar 15 segundos antes de avanzar a la divergencia, permitiendo al sensor de visión detectar todas las piezas que puedan pasar por él en este periodo de tiempo. Este reposo es necesario para las últimas transiciones de la divergencia, en el que se detectan defectos en más de una pieza del lote.

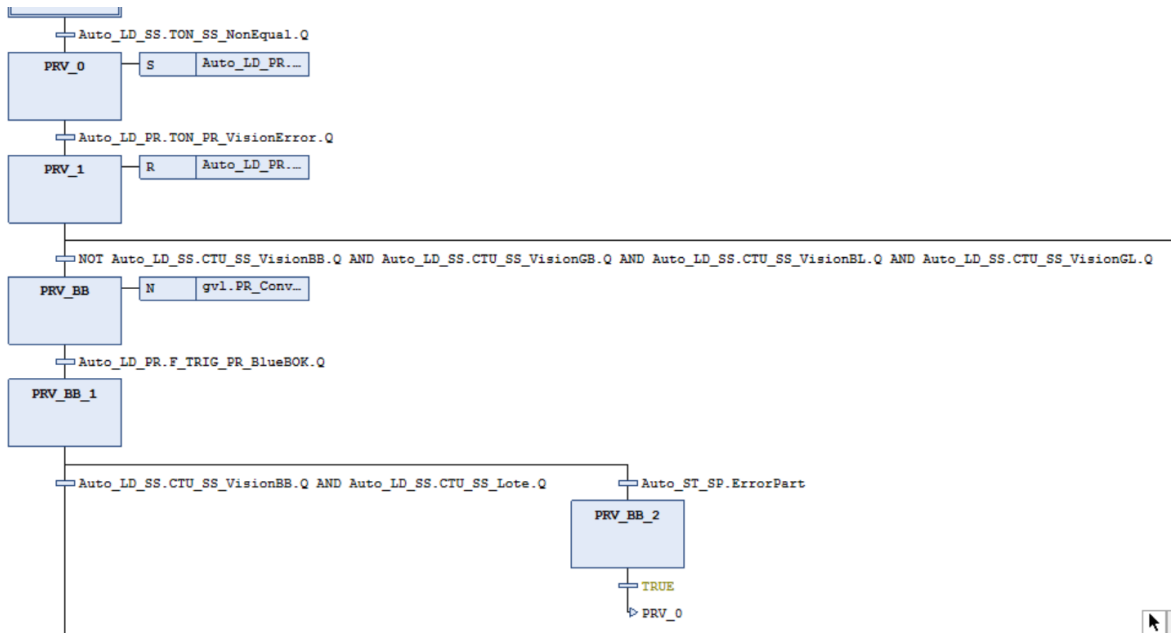


Figura 3. 15. Ejemplo divergencia de *Auto\_SFC\_PR\_VisionError* de Codesys.

### 3.2.2.2. Zona 2: *Sorting Station*

El funcionamiento de esta zona está dirigido por 1 GRAFCET simple: *Auto\_SFC\_SS*.

Es el encargado de detectar las piezas emitidas en la primera zona mediante el mencionado sensor de visión. Con el apoyo del texto estructurado *Auto\_ST\_SP* y con la divergencia mostrada en la **Figura 3.16.**, el sistema empujará hacia la zona 3 las piezas en un estado correcto y dejará pasar por la cinta transportadora a las piezas defectuosas, llegando al *Remove* de final de cinta.

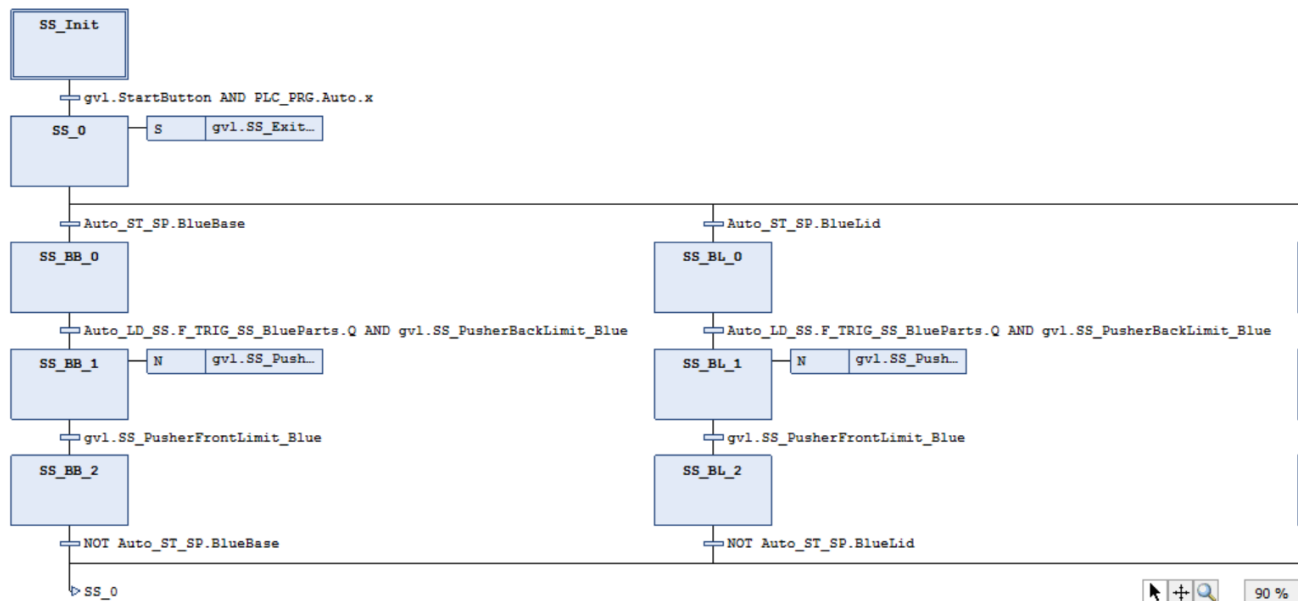


Figura 3. 16. *Auto\_SFC\_SS* de Codesys.



Cuando se detecten piezas azules correctas se accionará el primer *Pusher*, mientras que el segundo se accionará cuando se detecten verdes, transportando los productos a la siguiente zona, como ya se ha comentado.

### 3.2.2.3. Zona 3: Separation

La dirección de esta zona está en manos de 2 líneas del Ladder *Auto\_LD\_SP*. El funcionamiento se basa en el uso del bloque biestable SR (prioridad al set).

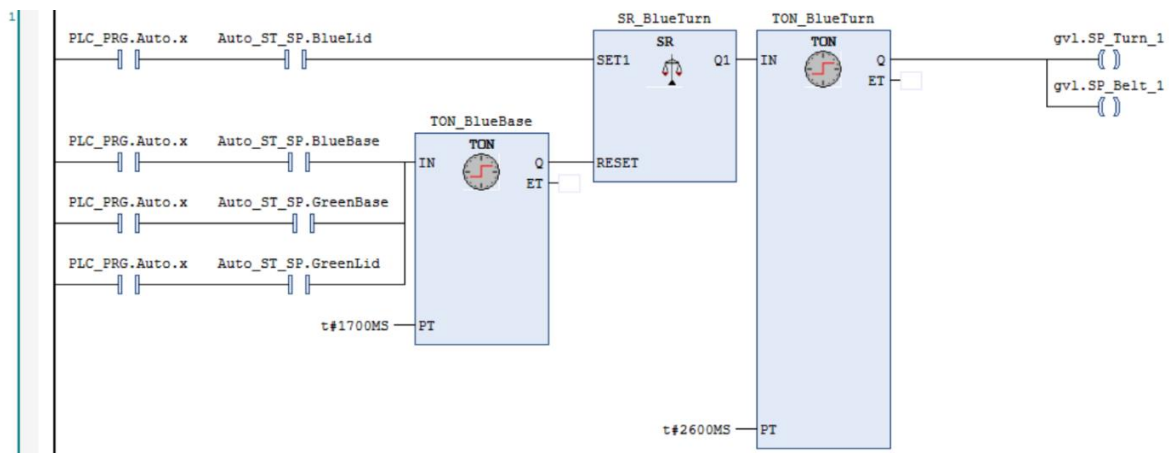


Figura 3. 17. Línea 1 de *Auto\_LD\_SP* de Codesys.

Cabe mencionar, que esta zona está programada para cualquier orden de entrada de las piezas. Además, para una velocidad máxima de entrada de piezas a la zona 2 de 2 segundos.

En la línea 1 (**Figura 3.17.**), se acaba accionando el brazo giratorio situado en la cinta transportadora de bases azules. De este modo, cuando el sensor detecta una tapa azul, se activa la salida del *SR\_BlueTurn*, que a su vez activa el temporizador de 2.6 segundos *TON\_BlueTurn*, accionando a la activación de su salida el brazo giratorio. El brazo se *reseteará* cuando el sensor haya detectado otro tipo de pieza y hayan pasado 1.7 segundos, el tiempo suficiente para que la tapa azul ya haya pasado a su cinta transportadora correspondiente.

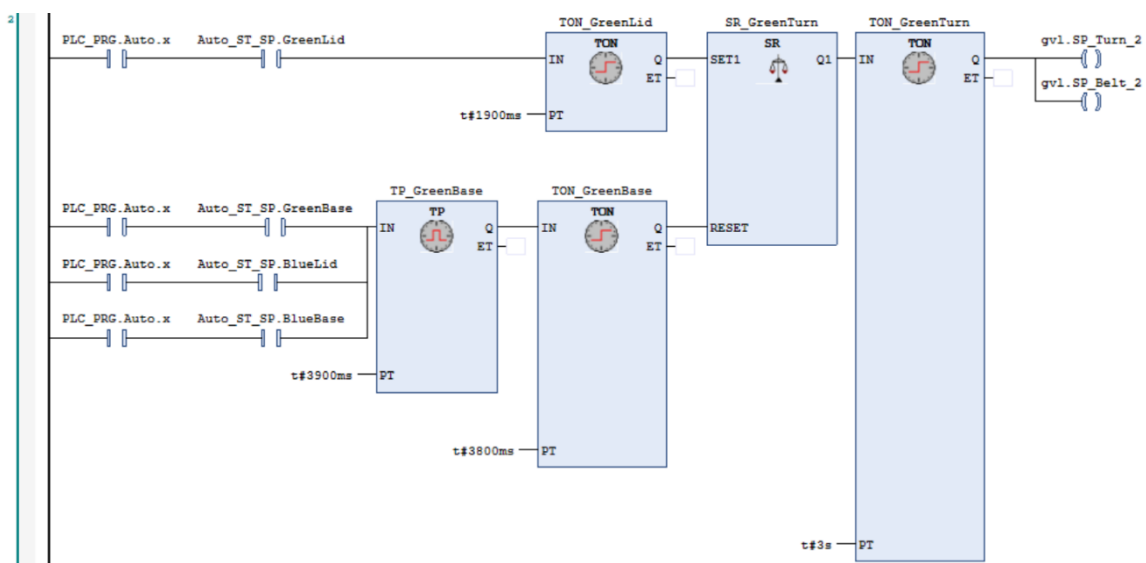


Figura 3. 18. Línea 2 de *Auto\_LD\_SP* de Codesys.

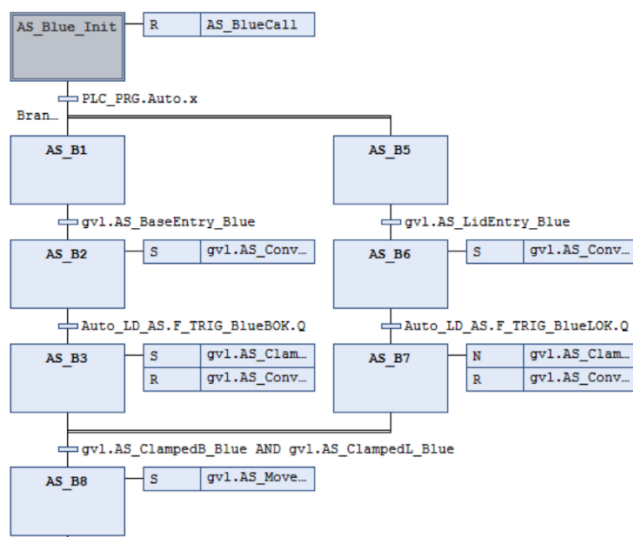
La línea 2 (**Figura 3.18.**) funciona de manera análoga, accionando finalmente el brazo giratorio situado en la cinta transportadora de bases verdes. Al estar más alejada, el tiempo de llegada de la pieza a este brazo es mayor al anterior. Por ello, se ha añadido el temporizador *TON\_GreenLid* a la entrada del bloque SR, además del temporizador de pulso *TP\_GreenBase* a la entrada del temporizador de *reset*. Con ello, se adquiere el suficiente tiempo para dejar a la tapa verde llegar al brazo giratorio antes de su desactivación.

### 3.2.2.4. Zona 4: Assambler

Esta es la zona encargada de montar las tapas sobre las bases correctamente. Tiene unión directa con la anterior zona y la posterior, por lo que es dependiente de estas dos.

El funcionamiento se basa en el uso de 4 GRAFCET: *Auto\_SFC\_AS\_Blue*, *Auto\_SFC\_AS\_BlueCall*, *Auto\_SFC\_AS\_Green* y *Auto\_SFC\_AS\_GreenCall*. El diseño de estos es idéntico para cada color, ya que la cadena de montaje es totalmente simétrica, por lo que tan solo pondremos de ejemplo el azul.

Al comienzo del primer GRAFCET, como se observa en la **Figura 3.19.**, se abre una divergencia simultánea. En esta se accionan los motores de las cintas de entrada, acomodando ambas piezas azules en las barras de posicionamiento. Una vez se detecten ambas piezas en la posición mencionada el GRAFCET continuará el proceso, montando la tapa sobre la base y levantando las barras para que la pieza prosiga su recorrido. Cuando la pieza retoma el movimiento por la cinta, la última etapa hará un llamamiento al siguiente GRAFCET, retornando a la etapa principal y esperando las siguientes piezas.



**Figura 3. 19.** Divergencia simultánea de *Auto\_SFC\_AS\_Blue* de Codesys.

El segundo GRAFCET simplemente se encarga de transportar la pieza hasta el final de la zona y principio de la siguiente, dejándola preparada para la recogida. Además, baja de nuevo la barra de posicionamiento que se accionó en el primer GRAFCET.

3.2.2.5. Zona 5: *Box*

En esta zona aumenta la complejidad, ya que se divide en dos subzonas: la primera tiene como función montar las cajas de carga de las piezas encima de pallets, además de enviarlas al punto de llenado; la segunda se encargará de depositar las piezas de la zona 4 en el interior de las cajas.

La subzona de pallets funciona con un solo GRAFCET: *Auto\_SFC\_BX\_Palletizer*. La mecánica seguida en la totalidad de este diagrama es la misma: se emiten una caja y un pallet, que son transportados mediante el uso de cintas de rodillo al punto de montaje (*Pick&Place* de 2 ejes); una vez ambos se encuentren en la posición programada, se montará la caja sobre el pallet.

Una vez se ha realizado la primera operación, el GRAFCET diverge en 4 posibles transiciones:

1. *CTU\_Palletizer* (Figura 3.20.) no ha activado su salida aún. Con el uso de una divergencia simultánea se desplazará el pallet con la caja recién montado hasta el punto programado, así como un nuevo pallet y caja se emitirán. Cuando ambas acciones se cumplan se saltará a la etapa P6, que transportará el nuevo material emitido nuevamente hasta el punto de montaje, cargando la caja sobre el pallet.

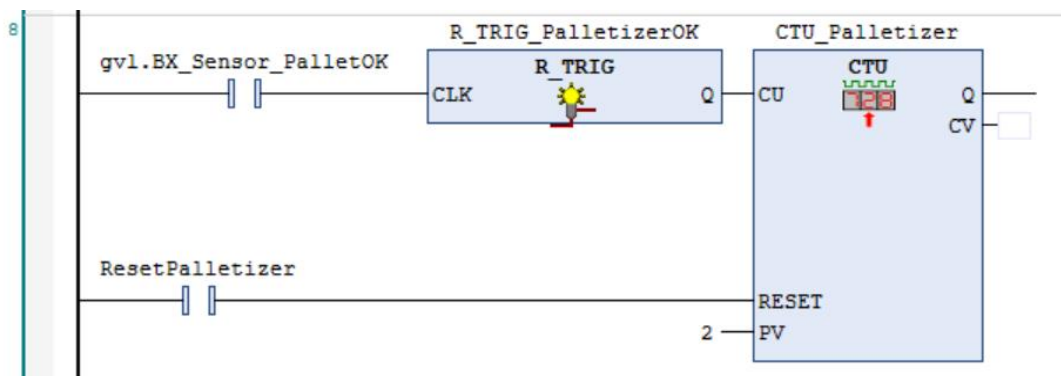


Figura 3. 20. Contador de pallets de *Auto\_LD\_BX\_Palletizer* de Codesys.

2. La salida de *CTU\_Palletizer* está activa, pero es el inicio de un ciclo (*SFC\_PalletizerOK* = FALSE, ninguna caja ha llegado a la subzona de *picking* aún). En la entrada de esta rama se *resetea* el contador. En este caso, también con una divergencia simultánea, los dos pallets con caja montados se trasladarán hasta la subzona de *picking*, donde cada pallet se parará en la posición programada; a su vez, un nuevo pallet y caja se emitirán, correspondiendo a un nuevo lote de 2. Cuando estas acciones finalicen, el diagrama saltará a la etapa P6 de nuevo.
3. La salida de *CTU\_Palletizer* está activa y no es el inicio de un ciclo. Del mismo modo, en la entrada de la rama se activa el *reset* del contador. De nuevo se abre una divergencia simultánea, que, por un lado, emitirá un pallet y caja nuevos y, por el otro, transportará el lote de 2 pallets con caja recién montados hasta el principio de la subzona de *picking*, esperando en reposo hasta que el *picking* haya finalizado y los pallets con los materiales dentro de la caja se hayan movido hasta la zona 6. Finalmente, los pallets con caja que se encontraban en reposo avanzarán hasta la subzona de *picking*.

- Las condiciones de entrada son las mismas que en la tercera transición, añadiendo que la variable *Fin\_Ciclo* ha sido activada. En este caso se operará de la misma forma que en el punto 3, sin emitir más pallets ni cajas, hasta saltar finalmente a la etapa inicial *P\_Init*.

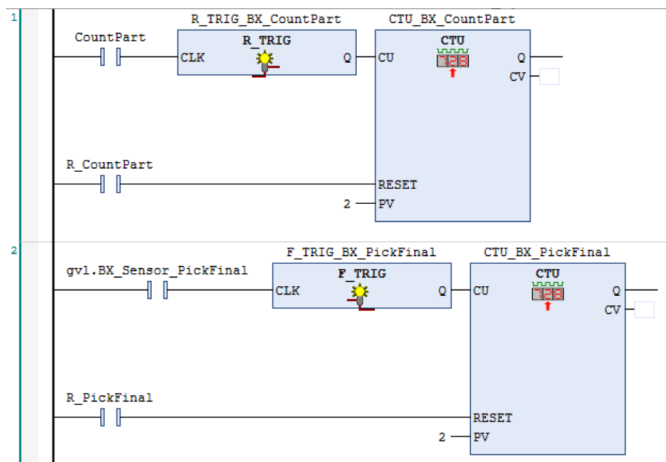


Figura 3. 21. Contadores de *Auto\_LD\_BX\_Pick* de Codesys.

Paralelamente, el GRAFCET encargado de la subzona de *picking* comienza a depositar las piezas, procedentes de la zona 4, en el interior de ambas cajas, procedentes de la subzona *palletizer*. Siempre se asegura de que tanto la pieza como la caja correspondiente se encuentren en su posición programada. Cuando el *Pick&Place* de 3 ejes deposita una pieza azul y otra verde, el contador *CTU\_BX\_CountPart* (Figura 3.21.) aumenta en uno. Como se puede comprobar en la Figura 3.22., mientras la salida de dicho contador se encuentre cerrada, el GRAFCET repetirá el proceso de depositar una pieza de cada color; una vez se active la salida, el contador se *reseteará* y ambas cajas saldrán hacia la última zona de la planta, permitiendo la entrada de otras dos (subzona *palletizer*, anteriormente explicada).

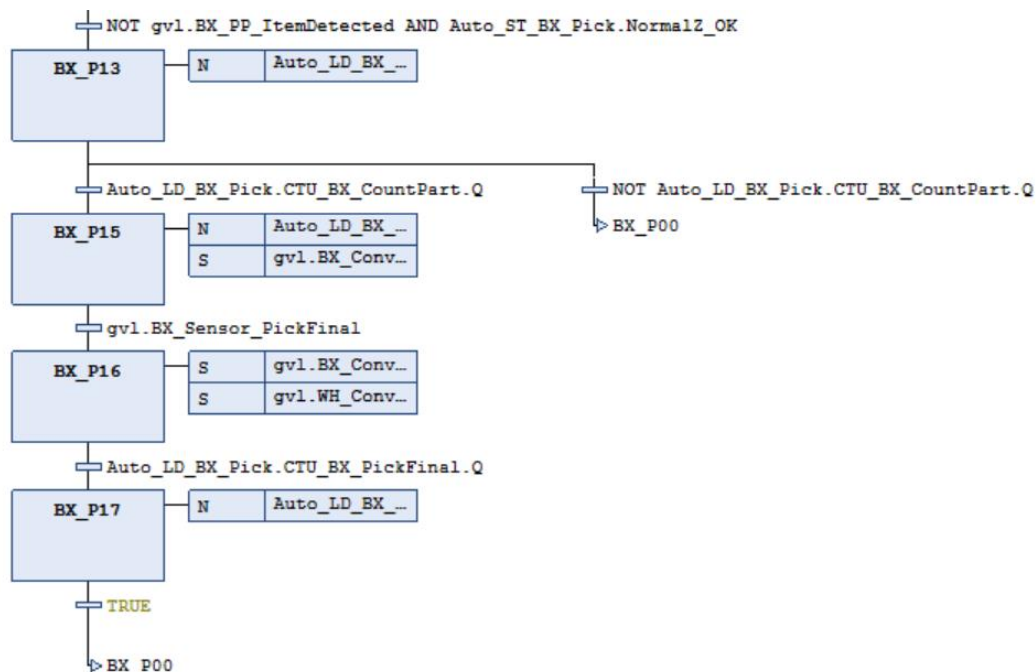


Figura 3. 22. Últimas etapas de *Auto\_SFC\_BX\_Pick* de Codesys.

Por último, el accionamiento del *Pick & Place* se ha programado en el texto estructurado *Auto\_ST\_BX\_Pick*, ya que era el lenguaje óptimo para la programación de valores analógicos. Además, *Factory I/O* permite aplicar un escalado a los valores que usa el programa, de esta manera, se ha aplicado una escala de 10, consiguiendo multiplicar los valores analógicos del *Pick & Place* (de 0 a 10 V con un solo decimal, error de 0.1 V) y procesarlos en *Codesys* como valores enteros. Los valores enteros que envía *Codesys* a *Factory I/O* pasan de nuevo por el escalado, esta vez dividiendo entre 10, pudiendo ser procesados por *Factory* como valores reales, con un decimal, de nuevo.

### 3.2.2.6. Zona 6: *WareHouse*

Esta última zona es la encargada de transportar las cajas enviadas de la zona 5 hasta los almacenes correspondientes, incluyendo la carga y descarga de la mercancía en ellos. Este proceso es posible gracias a el uso de los contadores de ascenso y descenso (*Up-Down*) de *Auto\_LD\_WH*, así como la dirección de varios GRAFCET que a continuación se explicarán.

En primer lugar, con la función de dirigir cada caja al almacén correspondiente, está el GRAFCET *Auto\_SFC\_WH\_Entry*. Este comienza una vez el lote de 2 cajas de la zona 5 llega hasta la primera cinta giratoria. En este punto se abre una divergencia de 4 ramas, representando las 4 posibilidades existentes:

1. Caja azul hacia almacén azul 2 y caja verde hacia almacén verde 2.
2. Caja azul hacia almacén azul 2 y caja verde hacia almacén verde 1.
3. Caja azul hacia almacén azul 1 y caja verde hacia almacén verde 1.
4. Caja azul hacia almacén azul 1 y caja verde hacia almacén verde 2.

Cuando ambos almacenes están vacíos, se sigue la opción 1, ya que lo más interesante es llenar el segundo almacén el primero, pudiendo descargarlo mientras el almacén 1 está en carga. Por el contrario, el almacén 1 no puede descargarse mientras se carga el segundo almacén. A su vez, los almacenes 1 y 2 no pueden descargarse simultáneamente.

Una vez el diagrama elige una de las 4 ramas, esta lleva a cada caja hasta la entrada del almacén deseado, volviendo al paso inicial, esperando nuevas cajas. Una vez la caja ha sido enviada a las entradas de los almacenes, es otro GRAFCET el encargado de transportarlas.

Como ya pasaba en la zona 4, los procesos son prácticamente simétricos, por lo que se pondrá como ejemplo el almacén azul, sirviendo del mismo modo para el verde.

El encargado de la carga de las cajas en el almacén es el GRAFCET *Auto\_SFC\_WH\_Blue*. Este comienza activando el reposo del transelevador de ambos almacenes (*RestTargetBlue*, que mueve el valor de 55 a la variable *gvl.TargetPos\_Blue*, valor de reposo para el programa *Factory I/O*). Seguidamente, se abre una divergencia de 2 ramas: la primera cuando el almacén 2 no está lleno y el sensor de entrada al almacén 2 detecta una caja; y otra cuando sí lo está y el sensor de entrada del almacén 1 detecta una caja. Una vez detecta la caja en la entrada del almacén, el diagrama se encarga de cargar dicha caja en el hueco disponible.

Llegados a este punto, es necesario explicar el funcionamiento de los contadores de carga y descarga (**Figura 3.23.**).

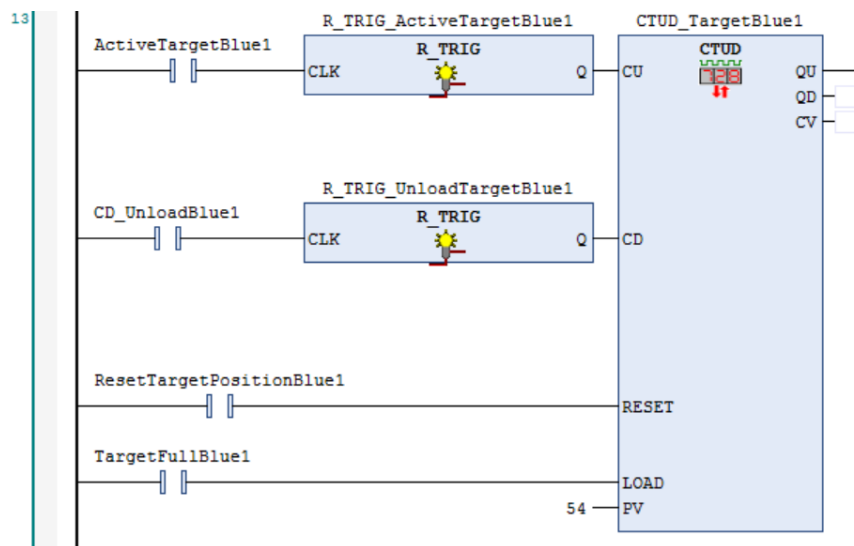


Figura 3. 23. Contador Up-Down Almacén Azul 1 de *Auto\_LD\_WH* de Codesys.

Cada uno de los cuatro almacenes cuenta con una línea de Ladder idéntica a la **Figura 3.23.**, cambiando las variables correspondientes.

Cuando en *Auto\_SFC\_WH\_Blue* se activa la entrada *ActiveTargetBlue1*, el contador *CTUD\_TargetBlue1* aumenta en 1 el valor del contador (CV). Así mismo, se ha programado que cuando esta entrada esté activa la variable *gvl.TargetPos\_Blue* tome el valor del contador. Con esto se consigue, que el almacén vaya llenando sus huecos por orden, hasta llegar al valor límite (PV) de 54, que son los huecos con los que cuenta el almacén. Una vez se llegue al valor límite la salida *QU* del contador se activará, indicando que este almacén está lleno.

De una manera similar se procede en la descarga, que más adelante se explicará. Una vez el transelevador descargue la caja del almacén, se activará la entrada *CD\_UnloadBlue1*, que restará en 1 el valor del contador. Cuando este alcance de nuevo el valor de 0, la salida *QD* se activará, indicando que el almacén se encuentra vacío.

Además, ha sido necesario incluir un GRAFCET de transición: *Auto\_SFC\_WH\_Z2Blue*. Este se encarga exclusivamente de transportar la caja que en *Auto\_SFC\_WH\_Entry* había sido enviada a la zona 2, accionando la cinta giratoria azul, hacia el almacén 2 azul.

En cuanto a las descargas de los almacenes, cada uno dispone de su propio GRAFCET, pero tan solo se explicará uno, debido a que todos tienen la misma estructura y funcionamiento.

*Auto\_SFC\_WH\_UnloadBlue1* se activa cuando la salida *QU* del contador *CTUD\_TargetBlue1* se encuentra abierta, la descarga del almacén azul 2 no se encuentra activa y se presiona el botón *WH\_Unload\_Blue1*. Una vez cumplidos dichos requisitos el transelevador comenzará a descargar por la casilla número 54, y a su vez, gracias a una divergencia simultánea, las cajas descargadas se transportarán hasta el *Remover*, situado al final de una cinta de rodillos pegada a la cinta giratoria azul.

### 3.2.3. Modo manual

Al modo manual puede accederse desde el modo automático, una vez se haya activado la parada (*gvl.StopButton*) y se haya encendido la luz *gvl.StopLight*, o bien desde el *reset* del paro de emergencia. El proceso quedará en pausa y al activar el modo manual, cambiando el pulsador situado en el cuadro eléctrico, el operario podrá activar cualquier cinta transportadora o de rodillos, así como empujadores, barras separadoras y más actuadores que se desee, con el objetivo de iniciar una verificación o mantenimiento del sistema.

Se saldrá de esta etapa cambiando de estado, es decir, al seleccionar el modo automático de nuevo.

El accionamiento de los actuadores en este modo se llevará a cabo desde la interfaz del operario, que se explicará detalladamente en un apartado posterior.

### 3.2.4. Parada de emergencia

El estado de emergencia puede activarse estando en cualquier etapa del GRAFCET principal. Una vez ha sido presionado el paro de emergencia (*gvl.EmergencyStop*) el diagrama se dirige hacia la etapa *Paro\_Emergencia*. En esta se activan tanto la sirena como las luces de emergencia (*gvl.AlarmLight* y *gvl.AlarmSiren*), además de desactivar todos los actuadores y *emitters* presentes en la planta (*ParoMotores*).

Para salir de esta etapa es necesario desactivar manualmente el paro de emergencia, desconectando el interruptor, cambiando de esta manera de estado (*iEstados* <> 3). Una vez abandonemos dicha etapa, la alarma y luz de emergencia cesarán.

Seguidamente, se hará la transición a la siguiente etapa (*PE\_Reset*), que, de manera análoga al rearme, mencionado en apartados anteriores, se limpiarán todas las zonas y despejarán posibles restos, dejando el sistema en las condiciones iniciales.

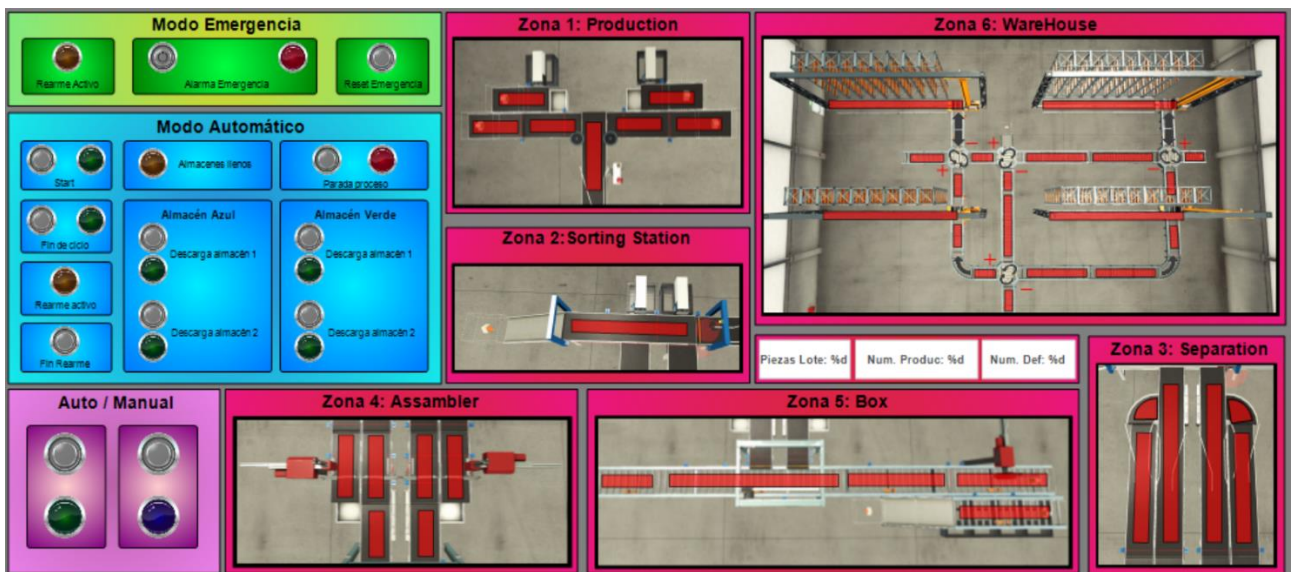
No obstante, de forma preventiva, para abandonar esta etapa, el operario de sala deberá confirmar el *reseteo* del paro de emergencia (*gvl.ResetButton*) y el sistema forzará la etapa *Manual*.



### 3.3. Diseño de la interfaz del operario

El propio software de *Codesys* permite integrar un editor de visualización, con el que se podrá desarrollar con facilidad una interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina). El desarrollo de esta visualización se encuentra en paralelo con el programa del PLC, permitiendo acceder directamente a todas las variables presentes en este. Además, ofrece una gran cantidad de elementos de visualización de forma gratuita, como interruptores, lámparas, figuras de todo tipo, un largo etc. [8]

Como se puede observar en la **Figura 3.24.**, se ha diseñado una interfaz sencilla, agrupando sus elementos en varios apartados, diferenciados por fondos de distintos colores.



**Figura 3. 24.** Interfaz de usuario de *Codesys*.

El panel del modo automático agrupa varias funciones:

- El interruptor de *Start*. Una vez el modo automático esté seleccionado, este interruptor es el que da comienzo a todo el proceso. Además, si el sistema se encuentra en parada, este interruptor lo reanudará. Está programado para solo poder accionarse encontrándose en el modo automático. La lámpara indicará si el proceso está en marcha.
- El interruptor de *Fin de ciclo*. Solo podrá ser accionado en el modo automático, dando comienzo al temporizador de fin de ciclo, por lo que el sistema realizará la última tanda de piezas. La lámpara se activará una vez el temporizador comience, apagándose cuando este llegue a su final.
- La lámpara de rearme se activará una vez el rearme del sistema comience, apagándose cuando presionemos el interruptor de *Fin Rearme*. Este solo podrá ser pulsado cuando el sistema se encuentre en la etapa de *Rearme\_FinCiclo\_2*.
- El interruptor de *Parada proceso*. Solo podrá pulsarse cuando el sistema se encuentre en el modo automático, pausando el proceso y pudiendo reanudarlo con el interruptor de *Start*. La lámpara se encenderá cuando se encuentre en paro.



- La descarga de los almacenes segundos puede efectuarse presionando el interruptor, estando en el modo automático o en la etapa de *Rearme\_FullStock\_2*. La lámpara se enciende cuando la descarga esté activa.
- La descarga de los primeros almacenes puede efectuarse presionando los interruptores, solo cuando el sistema se encuentra en la etapa de *Rearme\_FullStock\_2*. La lámpara se enciende cuando la descarga se encuentre activa.

Cuando se presiona el interruptor de energía del panel del modo de emergencia o se presiona el paro de emergencia del cuadro de la planta, la lámpara de alarma de emergencia se encenderá. Una vez soltemos este interruptor, la lámpara se apagará.

La lámpara *Rearme activo* se encenderá una vez el paro de emergencia haya sido desactivado, apagándose cuando se presione el interruptor *Reset Emergencia*, que a su vez enviará al sistema a la etapa de modo manual.

Por otro lado, se observan todas las zonas de la planta. En cada una de ellas puede comprobarse la actividad de los actuadores en todo momento. Tan solo cuando el sistema entre en el modo manual, el operario podrá accionar o desactivar los actuadores *clickando* sobre ellos.

También, pueden observarse en esta interfaz los 3 contadores que se encuentran en el cuadro eléctrico de la planta: el número de pieza de cada lote, el número de producción y el número de piezas defectuosas detectadas por el sistema.

## 4. Propuestas de mejora

En el siguiente apartado se tratarán algunas ideas para mejorar el proyecto en un futuro.

Podría añadirse un sistema de seguridad que detectara posibles errores en la producción de la planta de manera automática. La solución más obvia sería añadir unos tiempos máximos en las etapas de producción automática de todas las zonas de la planta, una vez el tiempo superara dicho límite, saltaría una señal de error, efectuándose una posible parada del sistema y pidiendo una revisión por parte de los operarios.

Además, ha quedado por investigar el potencial de las llamadas *SFC Flags*, variables internas de *Codesys* asociadas a los GRAFCET. Tan solo se ha hecho uso del *SFCInit* y *SFCPause*, variables que reinician el GRAFCET y lo pausan, respectivamente. Existen otras como *SFCError*, *SFCErrorPOU* o *SFCErrorStep*, destinadas a detectar posibles errores en los diagramas, así como almacenar el nombre del paso o GRAFCET concretos donde el fallo ha sido detectado.

La interfaz HMI es otro punto por mejorar, tanto su diseño estético como el funcional. Podría crearse una aplicación para móvil, configurando el diseño táctil. También, quedan por explorar muchas de las funciones que el visualizador de *Codesys* incluye, como los histogramas o la conexión directa con *Excel*, para el almacenamiento de datos. No obstante, esta interfaz no era uno de los objetivos principales del proyecto.

## 5. Conclusiones

Una vez terminado el proyecto práctico y finalizada la redacción de este, inevitablemente, se han llegado a una serie de conclusiones.

El objetivo del proyecto ha sido logrado satisfactoriamente, habiendo logrado el correcto funcionamiento de la simulación de una planta industrial, controlada mediante un software de programación de PLC.

Gracias al uso de *Factory I/O*, he podido acercarme a algunos de los procesos más comunes de la industria, aprendiendo su funcionamiento y la forma de programarlos. Además, he aprendido la gran importancia del diseño de la planta, de la distribución de todos sus elementos, sobre todo de la correcta colocación de los sensores, basado en cómo y para qué quieren utilizarse.

Gracias al uso de *Codesys*, he podido asentar las bases de programación de PLC estudiadas durante el grado. He ganado una gran soltura programando diagramas secuenciales, así como en el diseño y la jerarquía entre ellos. También, he aprendido desde 0 la programación en texto estructurado, siendo clave en la elaboración de este proyecto y en la programación de PLC en general. Con la elaboración de una interfaz HMI, he comprendido la importancia que esta tiene, siendo una pieza clave para los operarios del sector industrial, ya que de una forma intuitiva y sencilla puede observarse el funcionamiento de la planta, además de poder intervenir en el proceso haciendo uso de ella.

En cuanto a la conexión entre ambos, he aprendido el protocolo Modbus TCP/IP, un concepto totalmente nuevo para mí, así como el uso de un PLC virtual.

En adición, he comprobado la importancia de seguir siempre un orden a la hora de trabajar, ya sea para nombrar todas las variables de una manera concisa y clara; para agrupar por carpetas las distintas zonas, ganando así una velocidad extra a la hora de buscar archivos, por ejemplo; para seguir un método de trabajo estricto, creando rutinas que ayudan a no olvidarse de los pasos a seguir importantes, etc.

Finalmente, a nivel personal, este proyecto me ha aportado una admiración, todavía mayor, por el mundo de la automatización, así como de la simulación de procesos industriales y de la nueva *Industria 4.0*. Además, he aprendido a afrontar situaciones difíciles, en las que muchos de los procesos programados fallaban, con calma, concentración y raciocinio.

## 6. Referencias

- [1] Factory I/O, «Factory I/O - Documentation» [En línea]. Disponible en: <https://docs.factoryio.com/> [Última fecha de consulta: 14.07.21].
- [2] Codesys, «Codesys - The comprehensive software suite for automation technology» [En línea]. Disponible en: <https://www.codesys.com/the-system.html> [Última fecha de consulta: 11.07.21].
- [3] OPC, «OPC – Wikipedia, la enciclopedia libre» [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/OPC> [Última fecha de consulta: 11.07.21].
- [4] Modbus, «Modbus – Wikipedia, la enciclopedia libre» [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Modbus> [Última fecha de consulta: 11.07.21].
- [5] Automatización Industrial, «Automatización Industrial: historia, características y tipos» [En línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/automatizacion-industrial/> [Última fecha de consulta: 13.07.21].
- [6] GRAFCET, «GRAFCET – Grupo Maser» [En línea]. Disponible en: [http://www.grupo-maser.com/PAG\\_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PROGRAMACION/GRAFCET/grafcet.htm](http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PROGRAMACION/GRAFCET/grafcet.htm) [Última fecha de consulta: 14.07.21].
- [7] González Suárez, Víctor M. (2010). *Modos de marcha y parada: La guía GEMMA* [Archivo PDF]. <http://www.isa.uniovi.es/>GemmaTelemecanique> [Última fecha de consulta: 15.08.21].
- [8] CODESYS Visualización, «CODESYS Visualización | Larraioz Elektronika» [En línea]. Disponible en: <https://larraioz.com/codesys/productos/visualizacion> [Última fecha de consulta: 21.08.21].



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

## CONTROL Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CAJAS

### DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES

*TRABAJO FINAL DEL*

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

*REALIZADO POR*

**Sergio Martínez Olmos**

*TUTORIZADO POR*

**Antonio Correcher Salvador**

**CURSO ACADÉMICO: 2020/2021**

## Índice del pliego de condiciones

1. Objeto.....	44
2. Normativa.....	44
3. Condiciones de los equipos de simulación y control.....	44
4. Condiciones de ejecución del programa.....	45
5. Pruebas de conexión .....	45

## 1. Objeto

El objeto del presente documento se refiere a la simulación y control de una planta industrial.

En este caso, al tratarse de un proyecto de simulación, el ámbito de aplicación se extenderá a la descripción de los equipos de simulación y control, en lugar de los materiales; y los requisitos para la correcta puesta en marcha del programa.

## 2. Normativa

En el siguiente apartado se mencionará toda la normativa vigente en España relacionada con el proyecto.

Código	Nombre	Fecha publicación
<b>UNE-EN 61508:2011</b>	Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relacionados con la seguridad.	2011-03-30 (Ratificada)
<b>UNE-EN 60848:2013</b>	Lenguaje de especificación GRAFCET para diagramas funcionales secuenciales.	2013-07-01 (Ratificada)
<b>UNE-EN 60870:2016</b>	Equipos y sistemas de telecontrol.	2016-04-01 (Ratificada)
<b>UNE-EN ISO 13850:2016</b>	Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño.	2016-04-06 (Ratificada)
<b>UNE-EN IEC 62439-5:2018</b>	Redes de comunicación industrial. Redes de automatización de alta disponibilidad.	2018-03-01 (Ratificada)
<b>UNE-EN IEC 61131:2019</b>	Autómatas programables.	2019-08-01 (Ratificada)

## 3. Condiciones de los equipos de simulación y control

En este apartado se va a realizar una descripción de las condiciones que debe cumplir el equipo de simulación y control.

### Requisitos mínimos del PC en *Factory I/O*

- Sistema operativo: Windows 7 SP1+ o superior.
- CPU: Conjunto de instrucciones SSE2.
- GPU: NVIDIA desde 2006 (GeForce 8), AMD desde 2006 (Radeon HD 2000), Intel desde 2012 (HD 4000 / IvyBridge).
- RAM: 1 GB.
- Memoria: 500 Mb de disco duro.

#### Requisitos mínimos del PC en Codesys V3.5

- Sistema operativo: Windows 8 o superior (32 ó 64 bits).
- Procesador: 2.5 GHz.
- RAM: 8 GB.
- Memoria: 12 GB disponibles en disco duro.

## 4. Condiciones de ejecución del programa

En este apartado se describen las condiciones necesarias para poder ejecutar ambos programas correctamente.

En primer lugar, ambos programas deberán permanecer abiertos y activos. Para la conexión entre ellos será necesaria una tarjeta de red Ethernet, integrada en la placa base del PC, así como una conexión a internet. Además, es necesario tener activo el PLC virtual que incluye *Codesys*.

En *Codesys* será necesario añadir a nuestro proyecto principal un adaptador *Ethernet*, además de un dispositivo TCP Modbus Esclavo. En este último, debe configurarse la dirección IP del Wi-fi, el puerto debe ser el 502 y la unidad ID, que deberá coincidir con la configurada en *Factory I/O*. Deberán añadirse, a su vez, los canales esclavos necesarios, coincidiendo con las variables de entrada y salida configuradas en *Factory I/O*.

El *driver* de *Factory I/O* debe estar seleccionado en "Modbus TCP/IP Server". El *HOST* debe ser el número IP del Wi-fi, conectado mediante el puerto 502. El *Esclavo ID* deberá ser el mismo que configuremos en *Codesys* (unidad ID del Modbus TCP esclavo). También, todos los *inputs* y *outputs* deberán estar colocados debidamente en su canal correspondiente, coincidiendo con los programados en *Codesys*.

## 5. Pruebas de conexión

Una vez cumplidas todas las condiciones de ejecución, puede comprobarse la correcta transmisión de datos entre programas. Para ello iniciaremos sesión en *Codesys*, y tras cargar el proyecto y corregir todos los errores de compilación pertinentes, puede comprobarse que la conexión se ha establecido correctamente gracias a los *ticks* verdes próximos a los iconos del adaptador Ethernet, así como del dispositivo *Modbus TCP Slave*.

Los errores de conexión pueden deberse a una incorrecta configuración de los datos mencionados en el anterior apartado.





# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

### CONTROL Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CAJAS

#### DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

*TRABAJO FINAL DEL*

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

*REALIZADO POR*

Sergio Martínez Olmos

*TUTORIZADO POR*

Antonio Correcher Salvador

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021

## Índice del presupuesto

<b>1. Introducción.....</b>	<b>48</b>
<b>2. Precios elementales .....</b>	<b>49</b>
2.1. Mano de obra .....	49
2.2. Maquinaria utilizada .....	49
<b>3. Precios descompuestos .....</b>	<b>50</b>
<b>4. Precios unitarios .....</b>	<b>51</b>
<b>5. Resumen de presupuesto.....</b>	<b>51</b>

## 1. Introducción

En el siguiente documento se expondrá el presupuesto del proyecto, incluyendo los costes parciales del diseño de la planta, la implementación del control de esta, el diseño y puesta en marcha de la interfaz HMI, así como los costes de la licencia de los softwares utilizados y el hardware.

Teniendo en cuenta que es un proyecto de simulación, los costes de los materiales de la planta no se tendrán en cuenta, corriendo a cargo de la empresa en caso de una implementación real. No obstante, se tendrá en cuenta el coste del software de simulación empleado, como bien se ha mencionado.

Además, se ha trabajado con un PLC virtual, incluido en *Codesys*, software de licencia gratuita, por lo que el coste de este es nulo.

A continuación, en la **Tabla 1**, se describirán las distintas secciones en las que se divide el desarrollo del proyecto, así como el tiempo invertido en cada una de ellas.

Sección	Tiempo invertido (h)
Diseño de la planta	30
Implementación del control	140
Diseño e implementación HMI	15
Redacción del proyecto	50
<b>Tiempo total</b>	<b>235</b>

**Tabla 1.** Desglose en secciones del desarrollo del proyecto.

## 2. Precios elementales

### 2.1. Mano de obra

Código	Descripción	Salario (€/h)
MO.GIEIA	Ingeniero en electrónica industrial y automática	16

Tabla 2. Coste mano de obra.

### 2.2. Maquinaria utilizada

En este apartado se incluirán la amortización del hardware utilizado durante el desarrollo del producto, en este caso un ordenador portátil *ASUS harman/kardon i7 8th Gen*, valorado en el año de su compra en 750 €; además del software utilizado, en este caso *Factory I/O*, cuya licencia no es gratuita.

#### Hardware

Se estima un uso de medio de 5 horas diarias, en el periodo de 225 días laborales. Además, se estima una vida útil del ordenador de 4 años. Se procede a calcular la amortización del ordenador:

$$\begin{aligned} \text{Amortización MU.OP} &= \frac{\text{base de amortización (€)}}{\text{vida útil (h)}} = \frac{750 \text{ €}}{4 \text{ años} \cdot 225 \text{ días} \cdot 5 \text{ horas/día}} \\ &= 0.167 \text{ €/h} \end{aligned}$$

#### Software

La licencia del *Factory I/O* es de 144 €/año. Estimando un uso de medio de 5 horas durante 225 días laborales, se calcula la amortización del programa:

$$\begin{aligned} \text{Amortización MU.FY} &= \frac{\text{base de amortización (€)}}{\text{vida útil (h)}} = \frac{144 \text{ €}}{1 \text{ año} \cdot 225 \text{ días} \cdot 5 \text{ horas/día}} \\ &= 0.128 \text{ €/h} \end{aligned}$$

Código	Descripción	Coste (€/h)
MU.OP	Ordenador portátil	0.167
MU.FY	Software Factory I/O	0.128

Tabla 3. Costes maquinaria utilizada.

### 3. Precios descompuestos

Justificación del coste del diseño de la planta:

Código	Descripción	Rendimiento (h)	Coste	Importe (€)
<b>MO.1</b>	Diseño de la planta		486,74 €	
<b>MO.GIEIA</b>	Ingeniero en electrónica industrial y automática	30	16 €/h	480
<b>MU.OP</b>	Ordenador portátil	25	0.167 €/h	4,175
<b>MU.FY</b>	Software Factory I/O	20	0.128 €/h	2,56

**Tabla 4.** Precio descompuesto de MO.1.

Justificación del coste de la implementación del control:

Código	Descripción	Rendimiento (h)	Coste	Importe (€)
<b>MO.2</b>	Implementación del control		2.271,06 €	
<b>MO.GIEIA</b>	Ingeniero en electrónica industrial y automática	140	16 €/h	2240
<b>MU.OP</b>	Ordenador portátil	140	0.167 €/h	23,38
<b>MU.FY</b>	Software Factory I/O	60	0.128 €/h	7,68

**Tabla 5.** Precio descompuesto de MO.2.

Justificación del coste del diseño e implementación de la interfaz HMI:

Código	Descripción	Rendimiento (h)	Coste	Importe (€)
<b>MO.3</b>	Diseño e implementación interfaz HMI		243,15 €	
<b>MO.GIEIA</b>	Ingeniero en electrónica industrial y automática	15	16 €/h	240
<b>MU.OP</b>	Ordenador portátil	15	0.167 €/h	2,505
<b>MU.FY</b>	Software Factory I/O	5	0.128 €/h	0,64

**Tabla 6.** Precio descompuesto de MO.3.

Justificación del coste de la redacción del proyecto:

Código	Descripción	Rendimiento (h)	Coste	Importe (€)
<b>MO.4</b>	Redacción del proyecto		808,35 €	
<b>MO.GIEIA</b>	Ingeniero en electrónica industrial y automática	50	16 €/h	800
<b>MU.OP</b>	Ordenador portátil	50	0.167 €/h	8,350

Tabla 7. Precio descompuesto de MO.4.

## 4. Precios unitarios

Código	Descripción	Coste (€)
<b>MO.1</b>	Diseño de la planta	486.74
<b>MO.2</b>	Implementación del control	2271.06
<b>MO.3</b>	Diseño e implementación interfaz HMI	243.15
<b>MO.4</b>	Redacción del proyecto	808.35

Tabla 8. Precio unitario de cada sección.

## 5. Resumen de presupuesto

Secciones	Importe (€)
Sección 1. Diseño de la planta	486,74
Sección 2. Implementación del control	2271,06
Sección 3. Diseño e implementación interfaz HMI	243,15
Sección 4. Redacción del proyecto	808,35
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>3809,30</b>
Gastos generales (13%)	495,209
Beneficio industrial (6%)	228,558
Suma	4533,07
IVA (21%)	951,94407
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>5485,01</b>

El presupuesto final asciende a la cantidad de CINCO MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS CON 1 CÉNTIMO.





# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

### CONTROL Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CAJAS

#### DOCUMENTO IV: ANEXOS

*TRABAJO FINAL DEL*

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

*REALIZADO POR*

**Sergio Martínez Olmos**

*TUTORIZADO POR*

**Antonio Correcher Salvador**

**CURSO ACADÉMICO: 2020/2021**

## Índice de los anexos

<b>1. Listado de variables .....</b>	<b>54</b>
1.1. Inputs .....	54
1.2. Coils.....	57
1.3. Register Inputs.....	62
1.4. Holding Registers.....	62
<b>2. Ubicación de sensores y actuadores en la planta.....</b>	<b>63</b>
2.1. Ubicación sensores.....	63
2.1. Ubicación actuadores.....	68
<b>3. Archivos software .....</b>	<b>74</b>

## 1. Listado de variables

A continuación, se expondrán todas las variables globales que se han utilizado en *Codesys* y *Factory I/O*. La tabla incluirá el nombre de la variable en *Codesys*, así como la ubicación de esta en ambos programas, además del tipo de variable.

En adición, se distinguirán según sean entradas o salidas, y, a su vez, se dividirán por zonas de la planta.

### 1.1. Inputs

Operadores Cuadro			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
StartButton	BOOL	%IX0.0	Input 0
StopButton	BOOL	%IX0.1	Input 1
ResetButton	BOOL	%IX0.2	Input 2
EmergencyStop	BOOL	%IX0.3	Input 3
AutoMode	BOOL	%IX0.4	Input 4
ManualMode	BOOL	%IX0.5	Input 5

**Tabla 9.** Operadores Cuadro.

Sensores Assambler Zone			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
AS_MovingX_Blue	BOOL	%IX1.1	Input 9
AS_MovingZ_Blue	BOOL	%IX1.2	Input 10
AS_MovingX_Green	BOOL	%IX1.3	Input 11
AS_MovingZ_Green	BOOL	%IX1.4	Input 12
AS_ItemDetected_Blue	BOOL	%IX1.5	Input 13
AS_ItemDetected_Green	BOOL	%IX1.6	Input 14
AS_ClampedB_Blue	BOOL	%IX1.7	Input 15
AS_ClampedL_Blue	BOOL	%IX2.0	Input 16
AS_ClampedB_Green	BOOL	%IX2.1	Input 17
AS_ClampedL_Green	BOOL	%IX2.2	Input 18
AS_RaiseLimitB_Blue	BOOL	%IX2.3	Input 19
AS_RaiseLimitL_Blue	BOOL	%IX2.4	Input 20
AS_RaiseLimitB_Green	BOOL	%IX2.5	Input 21
AS_RaiseLimitL_Green	BOOL	%IX2.6	Input 22
AS_BaseOK_Blue	BOOL	%IX2.7	Input 23
AS_LidOK_Blue	BOOL	%IX3.0	Input 24
AS_PartOK_Blue	BOOL	%IX3.1	Input 25
AS_BaseOK_Green	BOOL	%IX3.2	Input 26
AS_LidOK_Green	BOOL	%IX3.3	Input 27
AS_PartOK_Green	BOOL	%IX3.4	Input 28
AS_BaseEntry_Blue	BOOL	%IX3.5	Input 29
AS_LidEntry_Blue	BOOL	%IX3.6	Input 30
AS_BaseEntry_Green	BOOL	%IX3.7	Input 31
AS_LidEntry_Green	BOOL	%IX4.0	Input 32

**Tabla 10.** Sensores Assambler Zone.

Sensores <i>Sorting Station Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
SS_RawSensor	BOOL	%IX0.7	Input 7
SS_ItemAtExit	BOOL	%IX1.0	Input 8
SS_PusherBackLimit_Blue	BOOL	%IX14.3	Input 115
SS_PusherFrontLimit_Blue	BOOL	%IX14.4	Input 116
SS_PusherBackLimit_Green	BOOL	%IX14.5	Input 117
SS_PusherFrontLimit_Green	BOOL	%IX14.6	Input 118
SS_S_BlueParts	BOOL	%IX14.7	Input 119
SS_S_GreenParts	BOOL	%IX15.0	Input 120

**Tabla 11.** Sensores *Sorting Station Zone*.

Sensores <i>Production Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
PR_BaseOK_Blue	BOOL	%IX4.1	Input 33
PR_LidOK_Blue	BOOL	%IX4.2	Input 34
PR_OK_Blue	BOOL	%IX4.3	Input 35
PR_BaseOK_Green	BOOL	%IX4.4	Input 36
PR_LidOK_Green	BOOL	%IX4.5	Input 37
PR_OK_Green	BOOL	%IX4.6	Input 38
PR_PBackLimit_Blue	BOOL	%IX4.7	Input 39
PR_PFrontLimit_Blue	BOOL	%IX5.0	Input 40
PR_PBackLimit_Green	BOOL	%IX5.1	Input 41
PR_PFrontLimit_Green	BOOL	%IX5.2	Input 42

**Tabla 12.** Sensores *Production Zone*.

Sensores <i>Box Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
BX_2A_MovingX	BOOL	%IX5.3	Input 43
BX_2A_MovingZ	BOOL	%IX5.4	Input 44
BX_2A_ItemDetected	BOOL	%IX5.5	Input 45
BX_PartReady_Blue	BOOL	%IX5.6	Input 46
BX_PartReady_Green	BOOL	%IX5.7	Input 47
BX_PartOK_Blue	BOOL	%IX6.0	Input 48
BX_PartOK_Green	BOOL	%IX6.1	Input 49
BX_PP_ItemDetected	BOOL	%IX6.2	Input 50
BX_Sensor_AllReady	BOOL	%IX6.3	Input 51
BX_Sensor_BoxOK	BOOL	%IX6.4	Input 52
BX_Sensor_BoxReady	BOOL	%IX6.5	Input 53
BX_Sensor_PalletOK	BOOL	%IX6.6	Input 54
BX_Sensor_PalletReady	BOOL	%IX6.7	Input 55
BX_Sensor_PalletExit	BOOL	%IX7.0	Input 56
BX_Sensor_PickPlus	BOOL	%IX7.1	Input 57
BX_Sensor_PickMinus	BOOL	%IX7.2	Input 58
BX_Sensor_ExitBoxes	BOOL	%IX7.3	Input 59
BX_Sensor_PickFinal	BOOL	%IX7.4	Input 60

**Tabla 13.** Sensores *Box Zone*.

Sensores Warehouse Zone			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
WH_AtLeft_Blue1	BOOL	%IX7.5	Input 61
WH_AtLeft_Blue2	BOOL	%IX7.6	Input 62
WH_AtLeft_Green1	BOOL	%IX7.7	Input 63
WH_AtLeft_Green2	BOOL	%IX8.0	Input 64
WH_AtMiddle_Blue1	BOOL	%IX8.1	Input 65
WH_AtMiddle_Blue2	BOOL	%IX8.2	Input 66
WH_AtMiddle_Green1	BOOL	%IX8.3	Input 67
WH_AtMiddle_Green2	BOOL	%IX8.4	Input 68
WH_AtRight_Blue1	BOOL	%IX8.5	Input 69
WH_AtRight_Blue2	BOOL	%IX8.6	Input 70
WH_AtRight_Green1	BOOL	%IX8.7	Input 71
WH_AtRight_Green2	BOOL	%IX9.0	Input 72
WH_MovingX_Blue1	BOOL	%IX9.1	Input 73
WH_MovingX_Blue2	BOOL	%IX9.2	Input 74
WH_MovingX_Green1	BOOL	%IX9.3	Input 75
WH_MovingX_Green2	BOOL	%IX9.4	Input 76
WH_MovingZ_Blue1	BOOL	%IX9.5	Input 77
WH_MovingZ_Blue2	BOOL	%IX9.6	Input 78
WH_MovingZ_Green1	BOOL	%IX9.7	Input 79
WH_MovingZ_Green2	BOOL	%IX10.0	Input 80
WH_S_AtEntry_Blue1	BOOL	%IX10.1	Input 81
WH_S_AtEntry_Blue2	BOOL	%IX10.2	Input 82
WH_S_AtEntry_Green1	BOOL	%IX10.3	Input 83
WH_S_AtEntry_Green2	BOOL	%IX10.4	Input 84
WH_S_AtExit_Blue1	BOOL	%IX10.5	Input 85
WH_S_AtExit_Green1	BOOL	%IX10.6	Input 86
WH_S_AtLoad_Blue1	BOOL	%IX10.7	Input 87
WH_S_AtLoad_Blue2	BOOL	%IX11.0	Input 88
WH_S_AtLoad_Green1	BOOL	%IX11.1	Input 89
WH_S_AtLoad_Green2	BOOL	%IX11.2	Input 90
WH_S_TurnTableEntry	BOOL	%IX11.3	Input 91
WH_TurnTableBackLimit	BOOL	%IX11.4	Input 92
WH_TurnTableFrontLimit	BOOL	%IX11.5	Input 93
WH_0Limit	BOOL	%IX11.6	Input 94
WH_90Limit	BOOL	%IX11.7	Input 95

**Tabla 14.** Sensores Warehouse Zone (1).

Sensores <i>Warehouse Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
WH_AtLeft_Green2	BOOL	%IX12.0	Input 96
WH_AtMiddle_Blue1	BOOL	%IX12.1	Input 97
WH_AtMiddle_Blue2	BOOL	%IX12.2	Input 98
WH_AtMiddle_Green1	BOOL	%IX12.3	Input 99
WH_AtMiddle_Green2	BOOL	%IX12.4	Input 100
WH_AtRight_Blue1	BOOL	%IX12.5	Input 101
WH_AtRight_Blue2	BOOL	%IX12.6	Input 102
WH_AtRight_Green1	BOOL	%IX12.7	Input 103
WH_AtRight_Green2	BOOL	%IX13.0	Input 104
WH_MovingX_Blue1	BOOL	%IX13.1	Input 105
WH_MovingX_Blue2	BOOL	%IX13.2	Input 106
WH_MovingX_Green1	BOOL	%IX13.3	Input 107
WH_MovingX_Green2	BOOL	%IX13.4	Input 108
WH_MovingZ_Blue1	BOOL	%IX13.5	Input 109
WH_MovingZ_Blue2	BOOL	%IX13.6	Input 110
WH_MovingZ_Green1	BOOL	%IX13.7	Input 111
WH_MovingZ_Green2	BOOL	%IX14.0	Input 112
WH_S_AtUnload_Blue1	BOOL	%IX14.1	Input 113
WH_S_AtUnload_Green1	BOOL	%IX14.2	Input 114

**Tabla 15.** Sensores *Warehouse Zone* (2).

## 1.2. Coils

Actuadores Cuadro			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
StartLight	BOOL	%QX0.0	Coil 0
StopLight	BOOL	%QX0.1	Coil 1
AlarmSiren	BOOL	%QX0.2	Coil 2
AlarmLight	BOOL	%QX0.3	Coil 3

**Tabla 16.** Actuadores cuadro.

Actuadores <i>Sorting Station Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
SS_ExitConv	BOOL	%QX0.4	Coil 4
SS_StopBlade	BOOL	%QX0.5	Coil 5
SS_Pusher_Blue	BOOL	%QX0.6	Coil 6
SS_Pusher_Green	BOOL	%QX0.7	Coil 7

**Tabla 17.** Actuadores *Sorting Station Zone*.



Actuadores <i>Separation Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
SP_BlueConvBase	BOOL	%QX1.0	Coil 8
SP_BlueConvLid	BOOL	%QX1.1	Coil 9
SP_BlueCurv	BOOL	%QX1.2	Coil 10
SP_GreenConvBase	BOOL	%QX1.3	Coil 11
SP_GreenConvLid	BOOL	%QX1.4	Coil 12
SP_GreenCurv	BOOL	%QX1.5	Coil 13
SP_Belt_1	BOOL	%QX1.6	Coil 14
SP_Turn_1	BOOL	%QX1.7	Coil 15
SP_Belt_2	BOOL	%QX2.0	Coil 16
SP_Turn_2	BOOL	%QX2.1	Coil 17

**Tabla 18.** Actuadores *Separation Zone*.

Actuadores <i>Assambler Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
AS_BeltLeftovers_Blue	BOOL	%QX2.2	Coil 18
AS_BeltLeftovers_Green	BOOL	%QX2.3	Coil 19
AS_TurnLeftovers_Blue	BOOL	%QX2.4	Coil 20
AS_TurnLeftovers_Green	BOOL	%QX2.5	Coil 21
AS_ConvBase_Blue	BOOL	%QX2.6	Coil 22
AS_ConvLid_Blue	BOOL	%QX2.7	Coil 23
AS_ConvBase_Green	BOOL	%QX3.0	Coil 24
AS_ConvLid_Green	BOOL	%QX3.1	Coil 25
AS_MoveX_Blue	BOOL	%QX3.2	Coil 26
AS_MoveZ_Blue	BOOL	%QX3.3	Coil 27
AS_MoveX_Green	BOOL	%QX3.4	Coil 28
AS_MoveZ_Green	BOOL	%QX3.5	Coil 29
AS_Grab_Blue	BOOL	%QX3.6	Coil 30
AS_Grab_Green	BOOL	%QX3.7	Coil 31
AS_ClampBase_Blue	BOOL	%QX4.0	Coil 32
AS_ClampLid_Blue	BOOL	%QX4.1	Coil 33
AS_ClampBase_Green	BOOL	%QX4.2	Coil 34
AS_ClampLid_Green	BOOL	%QX4.3	Coil 35
AS_RaiseBase_Blue	BOOL	%QX4.4	Coil 36
AS_RaiseLid_Blue	BOOL	%QX4.5	Coil 37
AS_RaiseBase_Green	BOOL	%QX4.6	Coil 38
AS_RaiseLid_Green	BOOL	%QX4.7	Coil 39
AS_ConvFinal_Blue	BOOL	%QX5.0	Coil 40
AS_ConvFinal_Green	BOOL	%QX5.1	Coil 41

**Tabla 19.** Actuadores *Assambler Zone*.

Actuadores <i>Production Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
PR_ConvBase_Blue	BOOL	%QX5.2	Coil 42
PR_ConvLid_Blue	BOOL	%QX5.3	Coil 43
PR_Conv_Blue	BOOL	%QX5.4	Coil 44
PR_ConvBase_Green	BOOL	%QX5.5	Coil 45
PR_ConvLid_Green	BOOL	%QX5.6	Coil 46
PR_Conv_Green	BOOL	%QX5.7	Coil 47
PR_ConvFinal	BOOL	%QX6.0	Coil 48
PR_Pusher_Blue	BOOL	%QX6.1	Coil 49
PR_Pusher_Green	BOOL	%QX6.2	Coil 50
PR_EmmitterBase_Blue	BOOL	%QX6.3	Coil 51
PR_EmmitterLid_Blue	BOOL	%QX6.4	Coil 52
PR_EmmitterBase_Green	BOOL	%QX6.5	Coil 53
PR_EmmitterLid_Green	BOOL	%QX6.6	Coil 54

**Tabla 20.** Actuadores *Production Zone*.

Actuadores <i>Box Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
BX_2A_Grab	BOOL	%QX6.7	Coil 55
BX_2A_MoveX	BOOL	%QX7.0	Coil 56
BX_2A_MoveZ	BOOL	%QX7.1	Coil 57
BX_ConvBox	BOOL	%QX7.2	Coil 58
BX_ConvEntry	BOOL	%QX7.3	Coil 59
BX_ConvFinal	BOOL	%QX7.4	Coil 60
BX_ConvPallet	BOOL	%QX7.5	Coil 61
BX_ConvPickPlus	BOOL	%QX7.6	Coil 62
BX_ConvPickMinus	BOOL	%QX7.7	Coil 63
BX_EmitterBox	BOOL	%QX8.0	Coil 64
BX_EmitterPallet	BOOL	%QX8.1	Coil 65
BX_PP_Grab	BOOL	%QX8.2	Coil 66
BX_StopBlade_Blue	BOOL	%QX8.3	Coil 67
BX_StopBlade_Green	BOOL	%QX8.4	Coil 68

**Tabla 21.** Actuadores *Box Zone*.

Actuadores <i>WareHouse Zone</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
WH_ConvAtEntry_Blue1	BOOL	%QX8.5	Coil 69
WH_ConvAtEntryPlus_Blue2	BOOL	%QX8.6	Coil 70
WH_ConvAtEntryMinus_Blue2	BOOL	%QX8.7	Coil 71
WH_ConvAtEntry_Green1	BOOL	%QX9.0	Coil 72
WH_ConvAtEntryPlus_Green2	BOOL	%QX9.1	Coil 73
WH_ConvAtEntryMinus_Green2	BOOL	%QX9.2	Coil 74
WH_ConvAtExit_Blue1	BOOL	%QX9.3	Coil 75
WH_ConvAtExit_Green1	BOOL	%QX9.4	Coil 76
WH_ConvBlue	BOOL	%QX9.5	Coil 77
WH_ConvCurved_Blue	BOOL	%QX9.6	Coil 78
WH_ConvCurved_Green	BOOL	%QX9.7	Coil 79
WH_ConvEntry	BOOL	%QX10.0	Coil 80
WH_ConvGreen1	BOOL	%QX10.1	Coil 81
WH_ConvGreen2	BOOL	%QX10.2	Coil 82
WH_ConvRemover_Blue	BOOL	%QX10.3	Coil 83
WH_ConvRemover_Green	BOOL	%QX10.4	Coil 84
WH_Left_Blue1	BOOL	%QX10.5	Coil 85
WH_Left_Blue2	BOOL	%QX10.6	Coil 86
WH_Left_Green1	BOOL	%QX10.7	Coil 87
WH_Left_Green2	BOOL	%QX11.0	Coil 88
WH_Lift_Blue1	BOOL	%QX11.1	Coil 89
WH_Lift_Blue2	BOOL	%QX11.2	Coil 90
WH_Lift_Green1	BOOL	%QX11.3	Coil 91
WH_Lift_Green2	BOOL	%QX11.4	Coil 92
WH_ConvLoad_Blue1	BOOL	%QX11.5	Coil 93
WH_ConvLoadPlus_Blue2	BOOL	%QX11.6	Coil 94
WH_ConvLoad_Green1	BOOL	%QX11.7	Coil 95

**Tabla 22.** Actuadores *Warehouse Zone* (1).

Actuadores Warehouse Zone			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
WH_ConvLoadPlus_Green2	BOOL	%QX12.0	Coil 96
WH_Remover_Blue	BOOL	%QX12.1	Coil 97
WH_Remover_Green	BOOL	%QX12.2	Coil 98
WH_Right_Blue1	BOOL	%QX12.3	Coil 99
WH_Right_Blue2	BOOL	%QX12.4	Coil 100
WH_Right_Green1	BOOL	%QX12.5	Coil 101
WH_Right_Green2	BOOL	%QX12.6	Coil 102
WH_TurnTableCCW_Blue	BOOL	%QX12.7	Coil 103
WH_TurnTableConvPlus_Blue	BOOL	%QX13.0	Coil 104
WH_TurnTableConvMinus_Blue	BOOL	%QX13.1	Coil 105
WH_TurnTableCW_Blue	BOOL	%QX13.2	Coil 106
WH_TurnTableCCW	BOOL	%QX13.3	Coil 107
WH_TurnTableConvPlus	BOOL	%QX13.4	Coil 108
WH_TurnTableConvMinus	BOOL	%QX13.5	Coil 109
WH_TurnTableCW	BOOL	%QX13.6	Coil 110
WH_TurnTableCCW_Green	BOOL	%QX13.7	Coil 111
WH_TurnTableConvPlus_Green	BOOL	%QX14.0	Coil 112
WH_TurnTableConvMinus_Green	BOOL	%QX14.1	Coil 113
WH_TurnTableCW_Green	BOOL	%QX14.2	Coil 114
WH_ConvUnload_Blue1	BOOL	%QX14.3	Coil 115
WH_ConvUnLoad_Green1	BOOL	%QX14.4	Coil 116
WH_ConvLoadMinus_Blue2	BOOL	%QX14.5	Coil 117
WH_ConvLoadMinus_Green2	BOOL	%QX14.6	Coil 118
WH_TurnTable2CCW	BOOL	%QX14.7	Coil 119
WH_TurnTable2CW	BOOL	%QX15.0	Coil 120
WH_TurnTable2ConvPlus	BOOL	%QX15.1	Coil 121
WH_TurnTable2ConvMinus	BOOL	%QX15.2	Coil 122
WH_ConvToZone2_1	BOOL	%QX15.3	Coil 123
WH_ConvToZone2_2	BOOL	%QX15.4	Coil 124
WH_ConvToZone2_Blue	BOOL	%QX15.5	Coil 125
WH_ConvToZone2_Green1	BOOL	%QX15.6	Coil 126
WH_ConvToZone2_Green2	BOOL	%QX15.7	Coil 127

**Tabla 23.** Actuadores Warehouse Zone (2).

### 1.3. Register Inputs

<i>Register Inputs</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
VisionSensor	UINT	%IW8	Reg Input 1
BX_PP_PosX	WORD	%IW9	Reg Input 2
BX_PP_PosY	WORD	%IW10	Reg Input 3
BX_PP_PosZ	WORD	%IW11	Reg Input 4

**Tabla 24.** Register Inputs.

### 1.4. Holding Registers

<i>Holding Registers</i>			
Nombre	Tipo de Dato	Dir. Codesys	Dir. Factory
CountLotePiezas	UINT	%QW8	Hold Reg 1
CountProduction	UINT	%QW9	Hold Reg 2
CountRawMaterial	UINT	%QW10	Hold Reg 3
BX_PP_SetX	WORD	%QW11	Hold Reg 4
BX_PP_SetY	WORD	%QW12	Hold Reg 5
BX_PP_SetZ	WORD	%QW13	Hold Reg 6
TargetPos_Blue1	WORD	%QW14	Hold Reg 7
TargetPos_Blue2	WORD	%QW15	Hold Reg 8
TargetPos_Green1	WORD	%QW16	Hold Reg 9
TargetPos_Green2	WORD	%QW17	Hold Reg 10

**Tabla 25.** Holding Registers.

## 2. Ubicación de sensores y actuadores en la planta

En el siguiente apartado se añadirán distintas imágenes tomadas de la planta industrial de *Factory I/O*, con el objeto de conocer la ubicación de cada sensor y actuador utilizado en el proceso.

### 2.1. Ubicación sensores

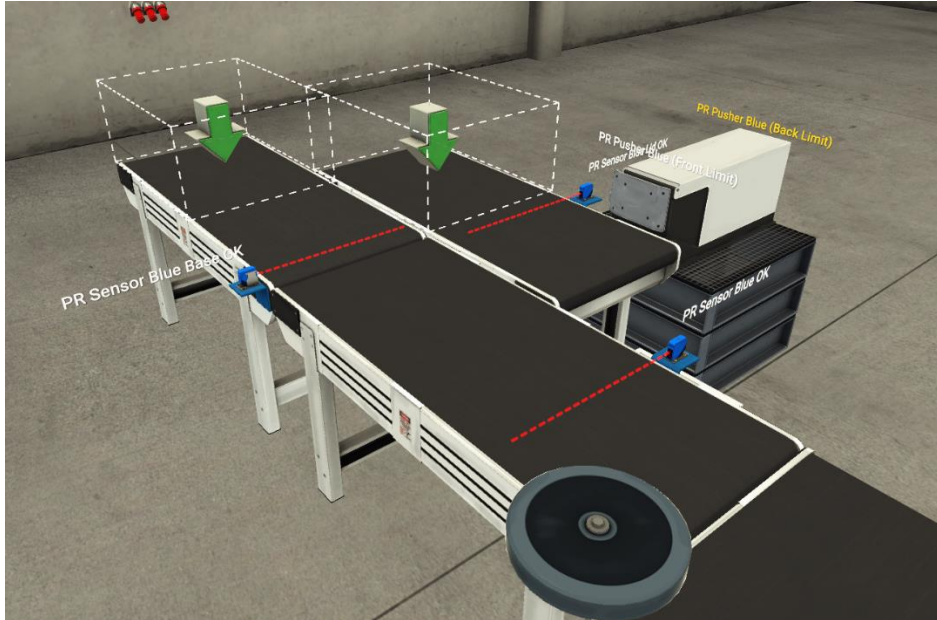


Figura Anexo 1. Sensores Zona 1 (1) de *Factory I/O*.

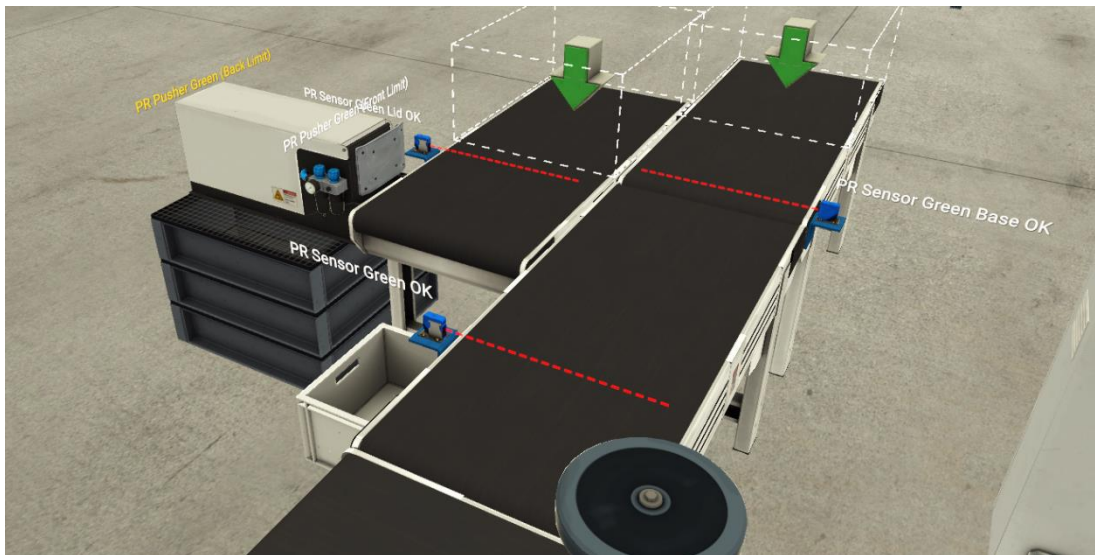


Figura Anexo 2. Sensores Zona 1 (2) de *Factory I/O*.



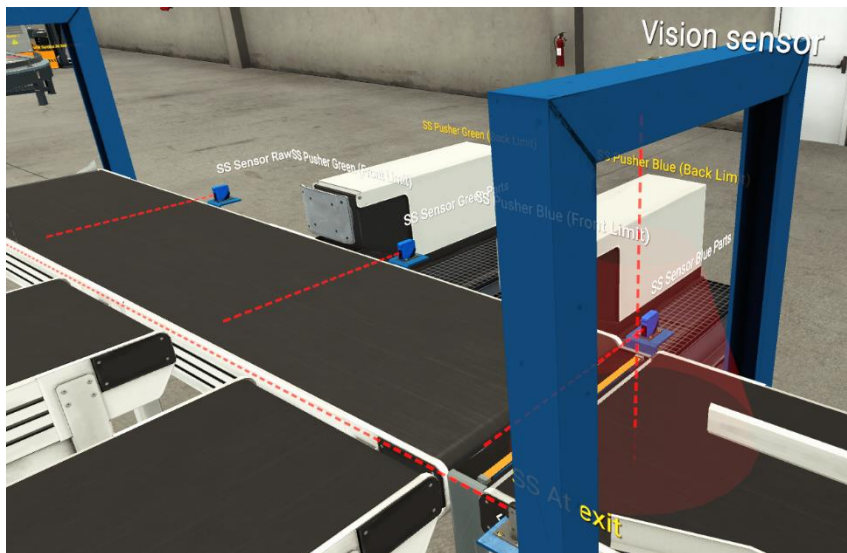


Figura Anexo 3. Sensores Zona 2 de Factory I/O.

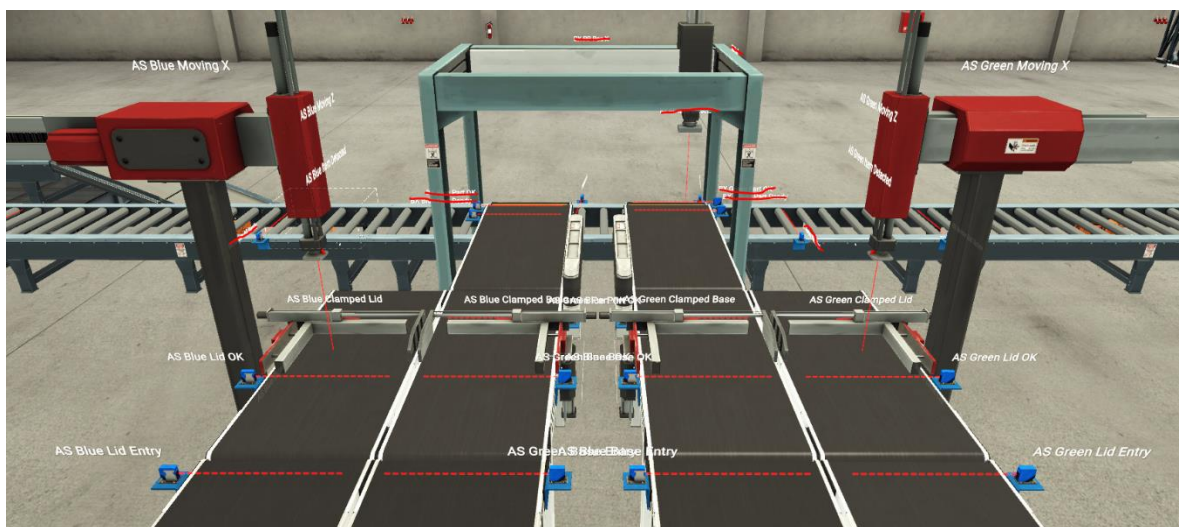


Figura Anexo 4. Sensores Zona 4 de Factory I/O.

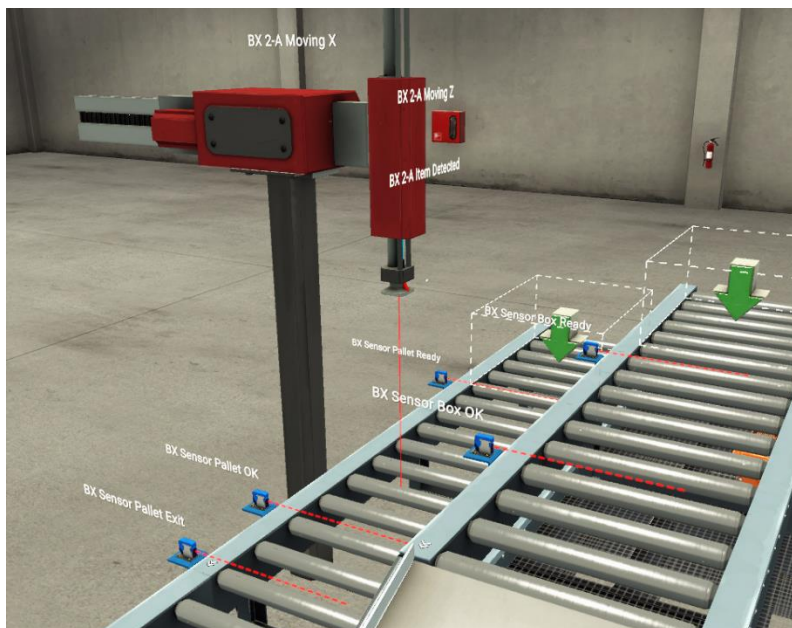


Figura Anexo 5. Sensores Zona 5 (1) de Factory I/O.

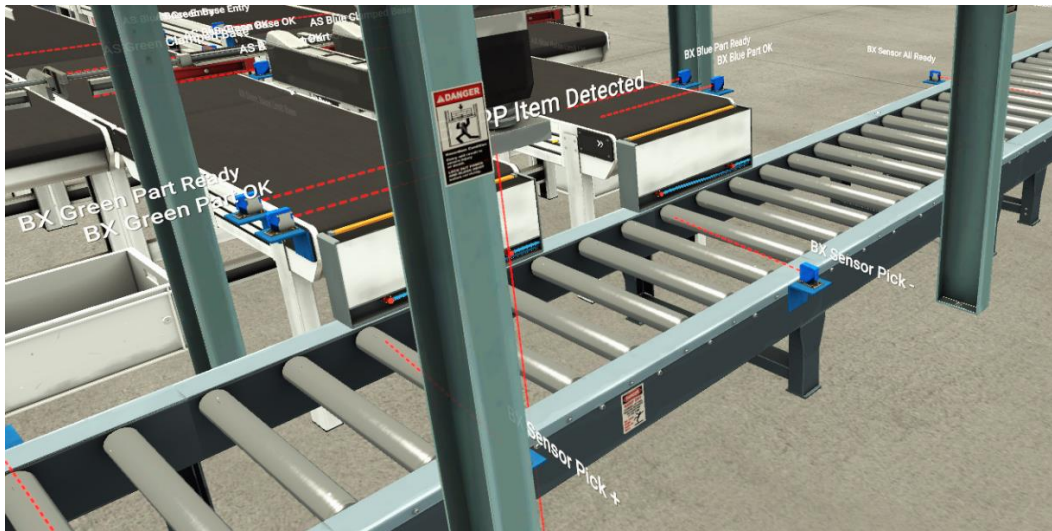


Figura Anexo 6. Sensores Zona 5 (2) de Factory I/O.



Figura Anexo 7. Sensores Zona 5 (3) de Factory I/O.

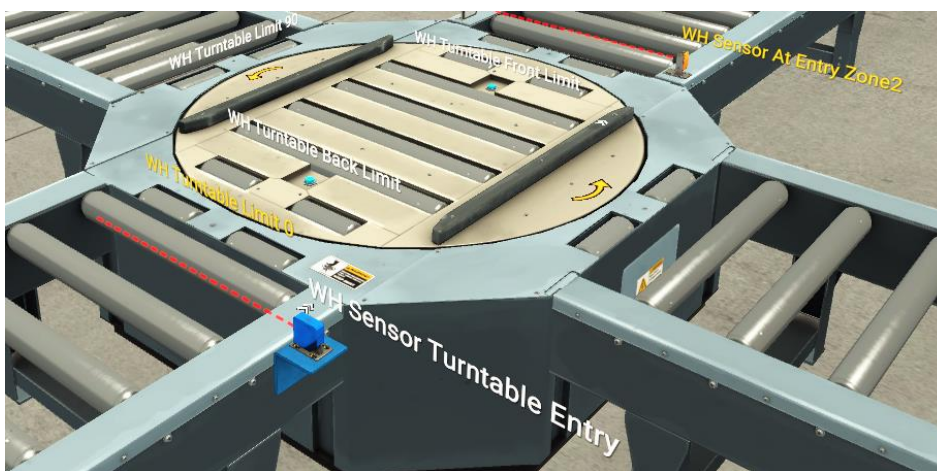


Figura Anexo 8. Sensores Zona 6 (1) de Factory I/O.



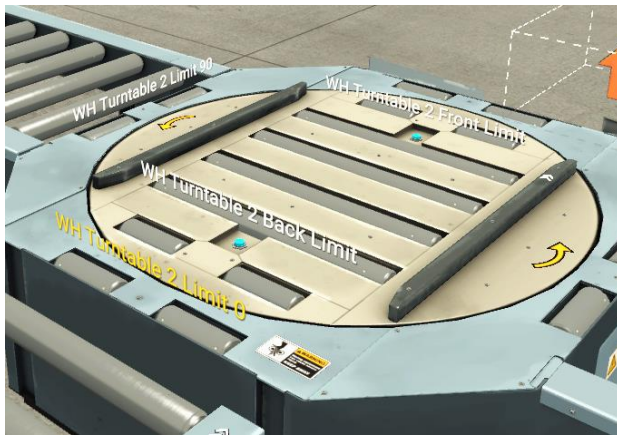


Figura Anexo 9. Sensores Zona 6 (2) de Factory I/O.

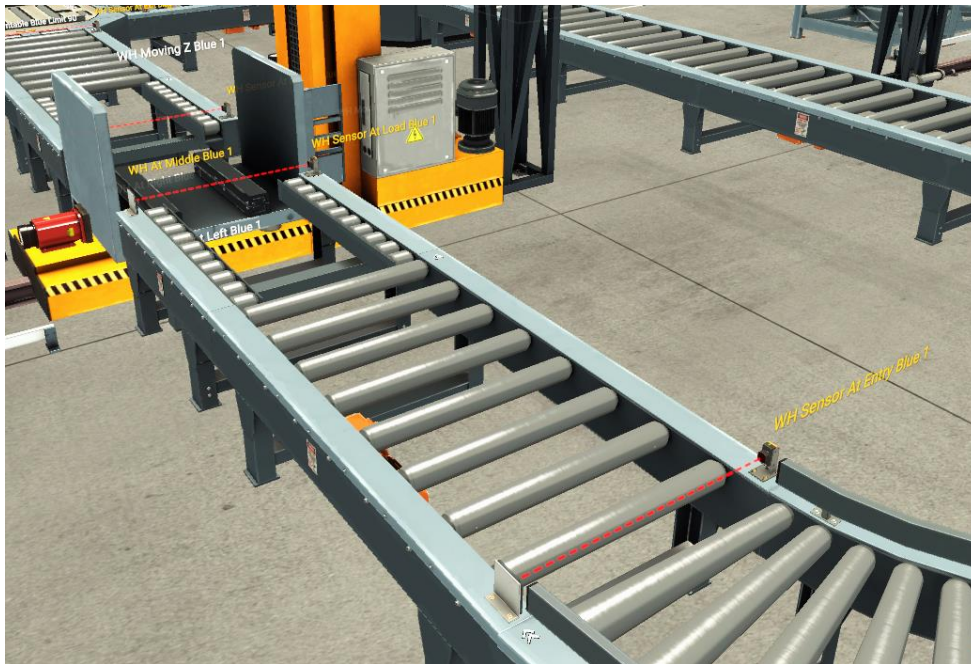


Figura Anexo 10. Sensores Zona 6 (3) de Factory I/O.



Figura Anexo 11. Sensores Zona 6 (4) de Factory I/O.



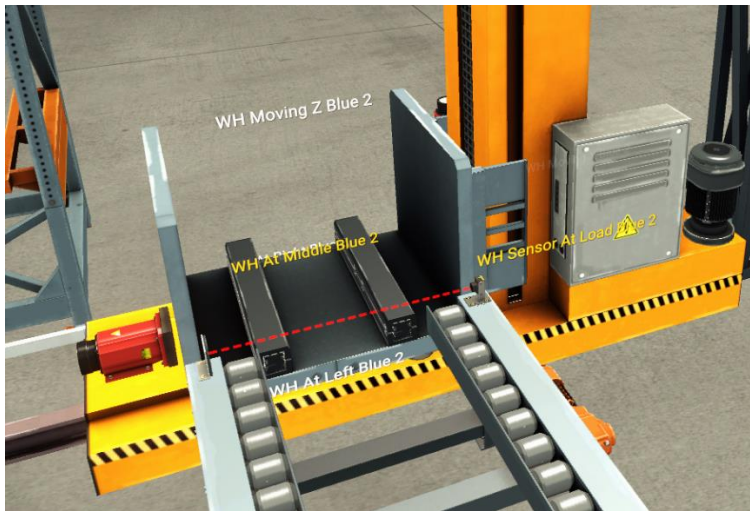


Figura Anexo 12. Sensores Zona 6 (5) de Factory I/O.



Figura Anexo 13. Sensores Zona 6 (6) de Factory I/O.

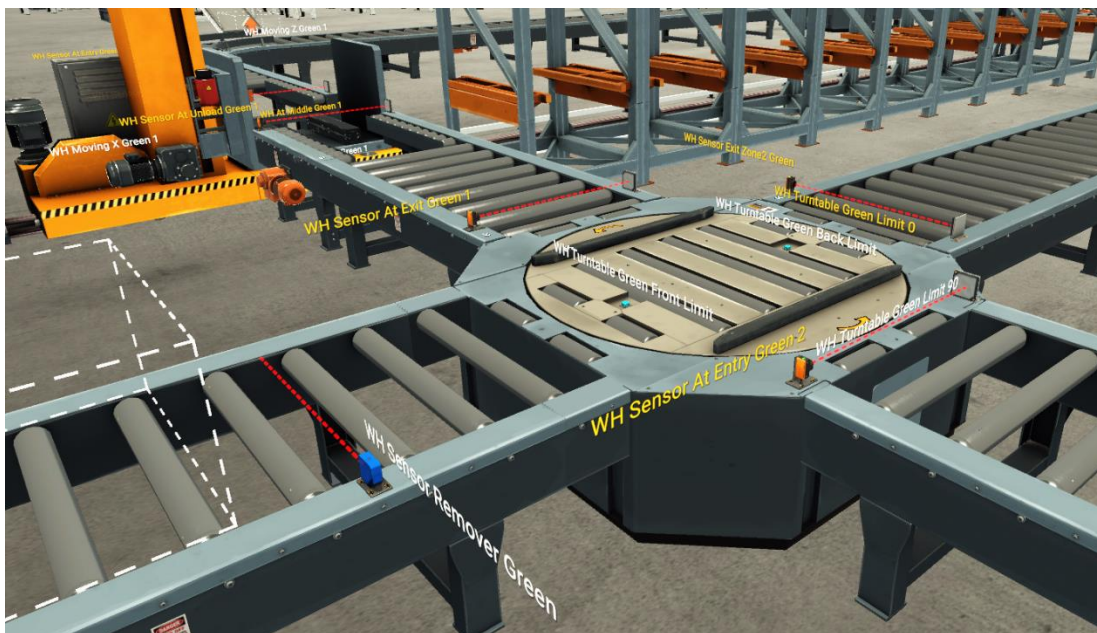


Figura Anexo 14. Sensores Zona 6 (7) de Factory I/O.

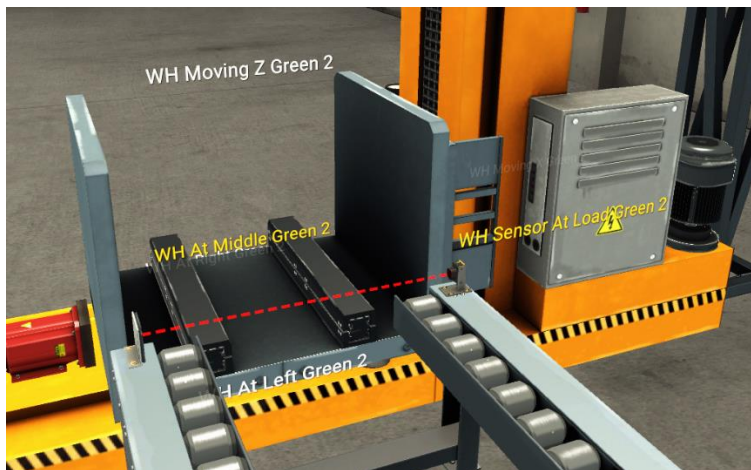


Figura Anexo 15. Sensores Zona 6 (8) de *Factory I/O*.

## 2.1. Ubicación actuadores

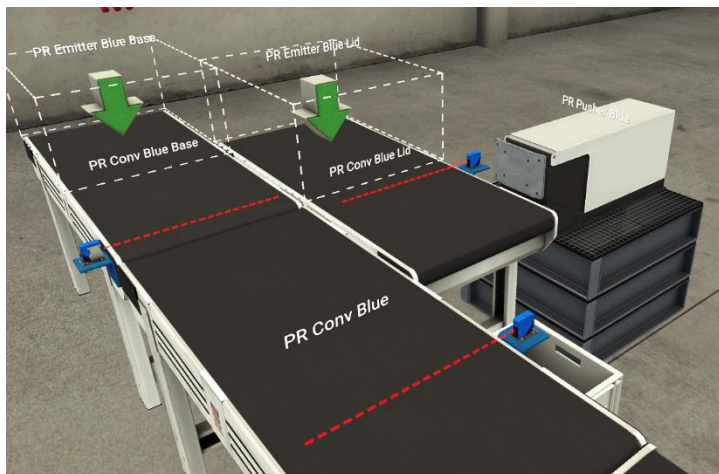


Figura Anexo 16. Actuadores Zona 1 (1) de *Factory I/O*.

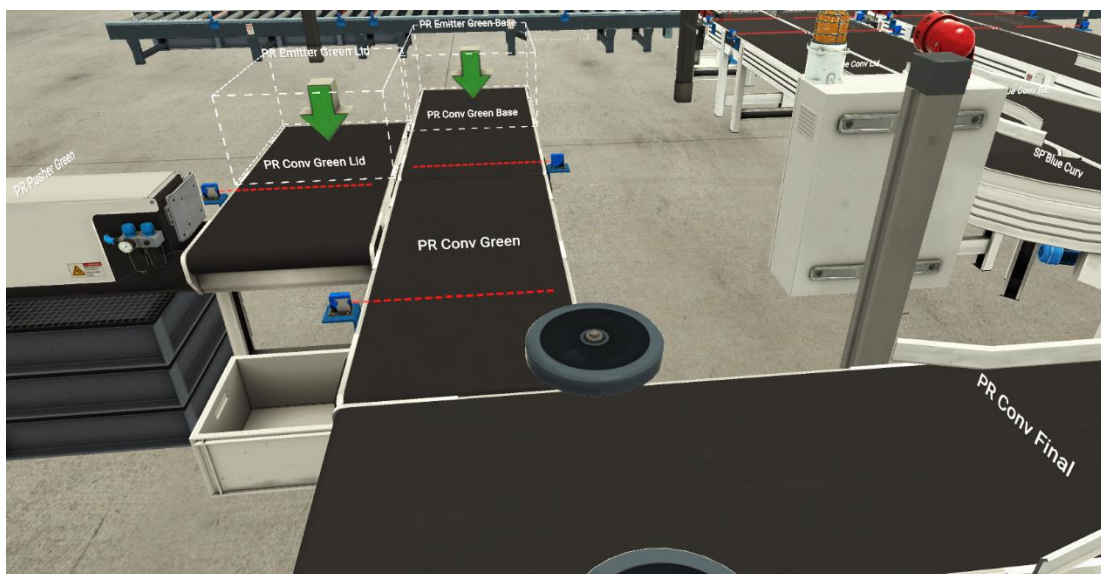


Figura Anexo 17. Actuadores Zona 1 (2) de *Factory I/O*.



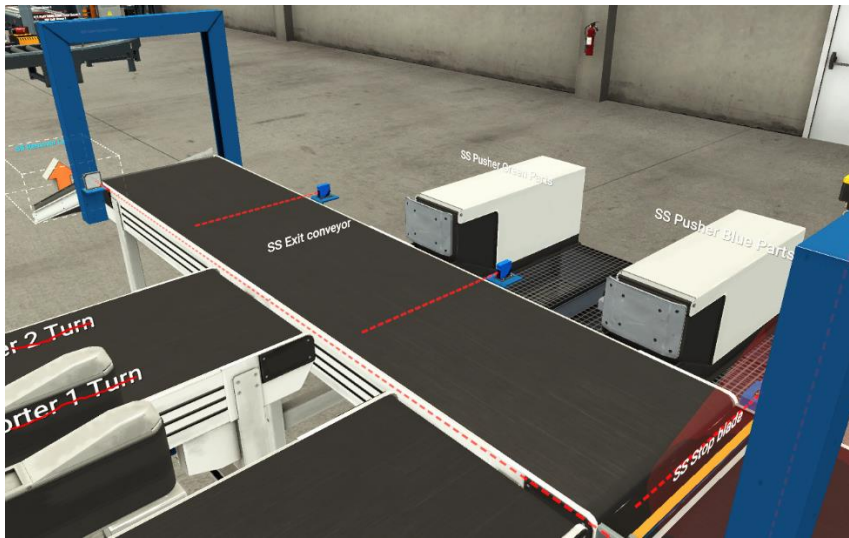


Figura Anexo 18. Actuadores Zona 2 de Factory I/O.

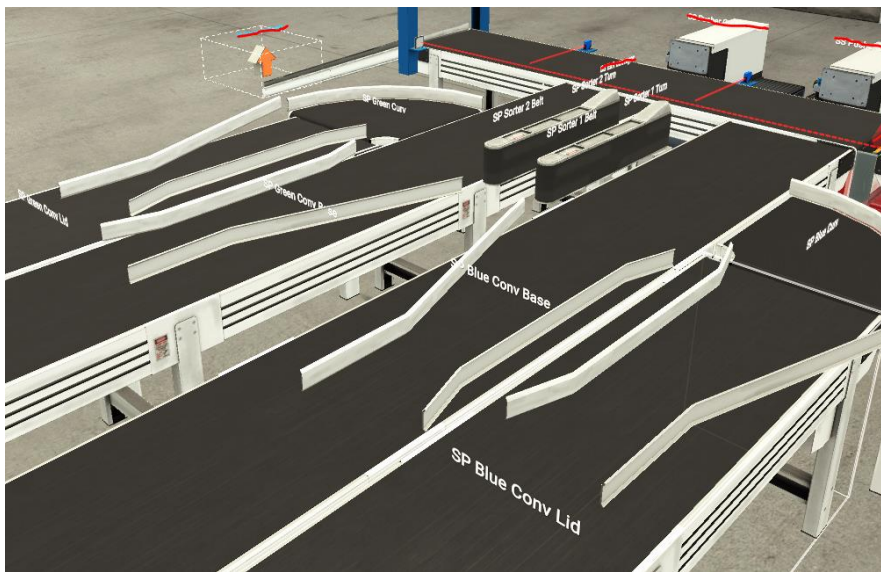


Figura Anexo 19. Actuadores Zona 3 de Factory I/O.

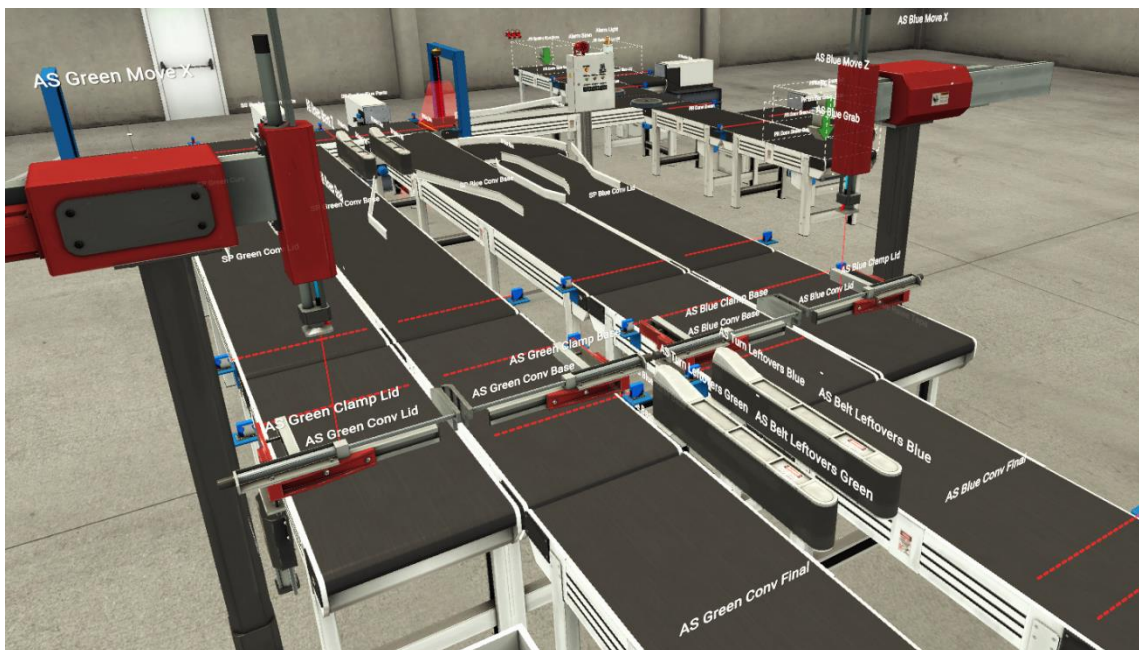


Figura Anexo 20. Actuadores Zona 4 de Factory I/O.

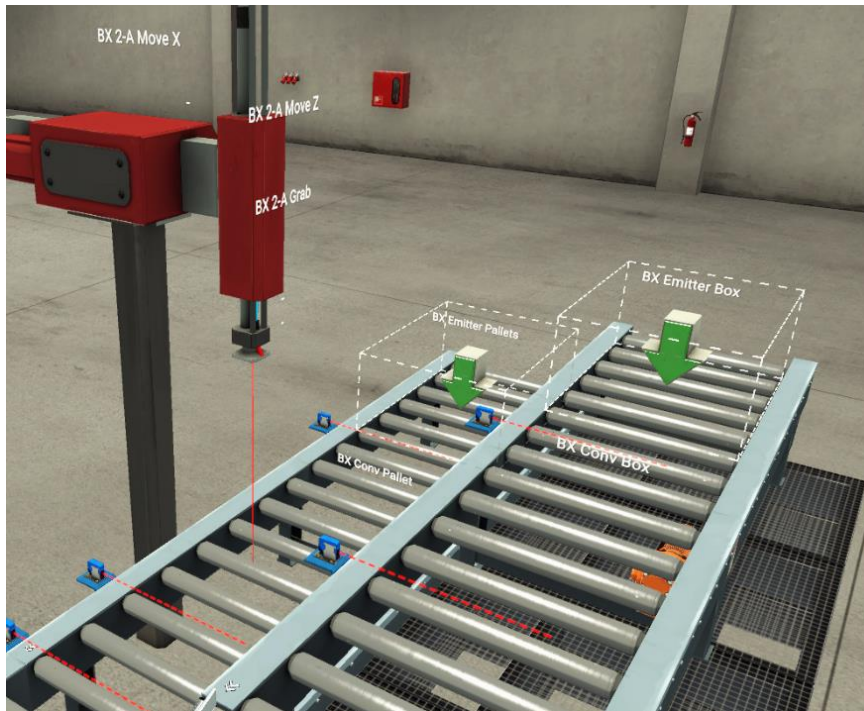


Figura Anexo 21. Actuadores Zona 5 (1) de Factory I/O.



Figura Anexo 22. Actuadores Zona 5 (2) de Factory I/O.



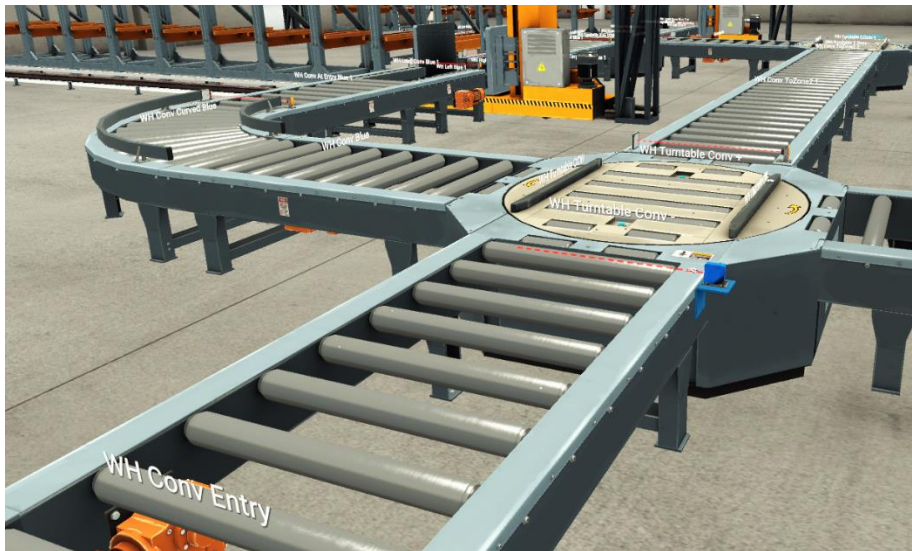


Figura Anexo 23. Actuadores Zona 6 (1) de Factory I/O.



Figura Anexo 24. Actuadores Zona 6 (2) de Factory I/O.



Figura Anexo 25. Actuadores Zona 6 (3) de Factory I/O.





Figura Anexo 26. Actuadores Zona 6 (4) de Factory I/O.



Figura Anexo 27. Actuadores Zona 6 (5) de Factory I/O.



Figura Anexo 28. Actuadores Zona 6 (6) de Factory I/O.





Figura Anexo 29. Actuadores Zona 6 (7) de Factory I/O.



Figura Anexo 30. Actuadores Zona 6 (8) de Factory I/O.



Figura Anexo 31. Actuadores Zona 6 (9) de Factory I/O.

### **3. Archivos software**

Codesys

<https://drive.google.com/drive/folders/199du2LNZxKih1oWrDsFGumILQTZySw3m?usp=sharing>

Factory I/O

<https://drive.google.com/drive/folders/1cGb3SP9jAijJ5P7DbUAbkP5VfMNj2B7n?usp=sharing>