

Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial.

Automatización de una planta de producción,
ensamblaje y almacenamiento empleando Codesys y
Citect Scada.

Autor: Manuel Ángel Prior Sierra

Tutor: Francisco Salas Gómez

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Automatización de una planta de producción, ensamblaje y almacenamiento empleando Codesys y Citect Scada.

Autor:

Manuel Ángel Prior Sierra

Tutor:

Francisco Salas Gómez

Profesor Titular de Universidad

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Máster: Automatización de una planta de producción, ensamblaje y almacenamiento empleando Codesys y Citect Scada.

Autor: Manuel Ángel Prior Sierra

Tutor: Francisco Salas Gómez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

A mi familia por apoyarme en esta nueva aventura que ha supuesto el máster en estos tiempos tan difíciles.

A mis compañeros por convertirse en una pequeña familia con los que compartir los éxitos y dificultades

A mis profesores por involucrarse en mi aprendizaje y hacerme mejor persona.

Agradecimientos

Gracias a mis padres por haberme dado la oportunidad de seguir formándome y de elegir siempre el camino que mejor creía para mí. También por haberme apoyado en esta aventura que ha supuesto el máster durante una etapa llena de incertidumbres ocasionadas por la pandemia del Covid-19.

Gracias a mi hermana por haberse preocupado por mí durante estos años y ser la persona con la que compartir los agobios, pero también los éxitos y alegrías.

Por supuesto y no menos importante, gracias a Francisco, que desde el primer contacto supo sacar lo mejor de mí con este proyecto, el cual ha aumentado mis ganas de seguir indagando en el ámbito de la automatización. Gracias a su ayuda y paciencia inagotables ha sido posible el desarrollo de este TFM.

Gracias a todos esos profesores que disfrutaban con su trabajo, adaptándose incluso en épocas complejas, y te hacen madurar intelectualmente y ser mejor persona.

Por último, gracias a mis compañeros, que, a pesar, de haberlos podido disfrutar poco por las circunstancias, me los llevo para siempre puesto que un máster da para mucho.

Manuel Ángel Prior Sierra

Sevilla, 2021

Resumen

En este Trabajo Fin de Máster se realizará el diseño, control y supervisión de una planta industrial automatizada encargada de producir piezas formadas por dos componentes diferenciados. En la planta se fabricarán dichos componentes por separado, se ensamblarán formando así la pieza completa, se les someterán a un tratamiento químico, se clasificarán para facilitar su embalaje en cajas y finalmente se paletizarán y se almacenarán en dos almacenes diferentes dependiendo del material en que las piezas hayan sido fabricadas. De esta forma, se completa todo el proceso desde la fabricación hasta el almacenamiento.

El diseño de la planta se realizará mediante el software educativo FACTORY I/O desarrollado por Real Games. Mediante la comunicación OPC se conseguirá volcar el programa realizado en CODESYS V3.5, que permita controlar la planta diseñada según las especificaciones que se deseen. En última instancia se realizará la comunicación y el diseño de un SCADA básico que permita la supervisión de las partes más relevantes de la planta diseñada.

Por una parte, se elaborarán las guías necesarias con el fin de facilitar a los futuros lectores la configuración de los tres softwares que se utilizarán, para que la comunicación entre ellos sea satisfactoria.

Por otra parte, se recogerán los principios de funcionamiento de la planta diseñada, la ubicación de los sensores y actuadores, así como los diferentes modos de funcionamiento en los que la planta puede operar.

Por último, se comentarán los problemas y limitaciones encontrados en el proceso del desarrollo del trabajo, así como una serie de conclusiones y futuras líneas de trabajo.

Abstract

In this Master's Thesis, the design, control and supervision of an automated plant in charge of producing parts made up of two differentiated components will be carried out. At the plant, these components will be manufactured separately, they will be assembled to form the complete part, they will be subjected to a chemical treatment, they will be classified to facilitate their packaging in boxes and finally they will be palletized and stored in two different warehouses depending on the material in which the parts have been manufactured. In this way, the entire process from manufacturing to storage is completed.

The design of the plant will be carried out using the educational software FACTORY I/O developed by Real Games. Through OPC communication it will be possible to dump the program made in CODESYS V3.5, which allows controlling the designed plant according to the desired specifications. Ultimately, the communication and design of a basic SCADA will be carried out that allows the supervision of the most relevant parts of the designed plant.

On the one hand, the necessary guides will be developed to facilitate future readers with the configuration of the three softwares that will be used, so that communication between them is satisfactory.

On the other hand, the operating principles of the design plant, the location of the sensors and actuators, as well as the different operating modes in which the plant can operate will be collected.

Finally, the problems and limitations encountered in the work development process will be discussed, as well as a series of conclusions and future lines of works.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xviii
Notación	xxi
1 Introducción y objetivos	1
2 Información Software	3
2.1 <i>FACTORY I/O</i>	3
2.1.1 Primer contacto con <i>FACTORY I/O</i>	4
2.1.1.1 Navegar a través de la escena.	4
2.1.1.2 Abrir una escena.	8
2.1.1.3 Creación de una escena nueva.	9
2.1.1.4 Control manual de una escena.	14
2.2 <i>CODESYS</i>	15
2.2.1 Servidor OPC (OPC Server)	16
2.3 <i>Citect Scada 2018 R2</i>	16
2.4 <i>Comunicación entre CODESYS y FACTORY I/O a través del Servidor OPC</i>	17
2.4.1 Configuración de <i>CODESYS OPC UA</i>	17
2.4.2 Configuración de <i>FACTORY I/O</i>	25
2.5 <i>Comunicación entre CODESYS y Citect SCADA a través del Servidor OPC</i>	28
2.5.1 Configuración de <i>CODESYS OPC UA</i>	28
2.5.2 Configuración de <i>Citect SCADA 2018 R2</i>	28
3 Especificaciones de la planta	35
3.1 <i>Funcionamiento de la planta</i>	36
3.1.1 Estación de mecanizado	36
3.1.2 Estación de ensamblaje	40

3.1.3	Estación de tratamientos químicos.....	42
3.1.4	Estación clasificadora de piezas terminadas.	45
3.1.5	Estación de embalaje.	47
3.1.6	Estación de paletizado.	48
3.1.7	Estación de almacenaje.	52
3.2	<i>Lista de sensores y actuadores</i>	56
3.2.1.	Estación de mecanizado.	56
3.2.2.	Estación de ensamblaje.	60
3.2.3.	Estación de tratamientos químicos.....	63
3.2.4.	Estación clasificadora de piezas terminadas.	65
3.2.5.	Estación de embalaje.	68
3.2.6.	Estación de paletizado.	70
3.2.7.	Estación de almacenaje.	73
3.2.8.	Cuadro HMI.....	79
4	Modos de funcionamiento.....	83
4.1	<i>Modo Automático</i>	85
4.2	<i>Modo Manual</i>	85
4.3	<i>Modo Inicialización / Rearme</i>	86
4.4	<i>Control y conmutación entre los distintos modos de funcionamiento</i>	87
5	Desarrollo del SCADA.....	91
6	Conclusiones	97
6.1	<i>Futuras líneas de trabajo</i>	98
7	Referencias	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Controles de la cámara Orbit (FACTORY I/O)	5
Tabla 2-2: Controles de la cámara Fly (FACTORY I/O).	6
Tabla 2-3: Controles de la cámara First Person (FACTORY I/O).	7
Tabla 3-1: Sensores de la estación de mecanizado.	56
Tabla 3-2: Actuadores de la estación de mecanizado.	58
Tabla 3-3: Sensores de la estación de ensamblaje.	60
Tabla 3-4: Actuadores de la estación de ensamblaje.	62
Tabla 3-5: Sensores de la estación de tratamientos químicos.	63
Tabla 3-6: Actuadores de la estación de tratamientos químicos.	64
Tabla 3-7: Sensores de la estación clasificadora de piezas terminadas.	65
Tabla 3-8: Actuadores de la estación clasificadora de piezas terminadas.	67
Tabla 3-9: Sensores de la estación de embalaje.	68
Tabla 3-10: Actuadores de la estación de embalaje.	68
Tabla 3-11: Sensores de la estación de paletizado.	70
Tabla 3-12: Actuadores de la estación de paletizado.	71
Tabla 3-13: Sensores de la estación de almacenaje.	73
Tabla 3-14: Actuadores de la estación de almacenaje	76
Tabla 3-15: Controles del cuadro HMI de la planta	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Logotipo FACTORY I/O versión 2.4.5	3
Figura 2-2: Escena nueva para construir la planta virtual. (FACTORY I/O)	4
Figura 2-3: Disposición de los comandos de inicialización de las cámaras (FACTORY I/O)	5
Figura 2-4: Apertura de la consola de comandos (FACTORY I/O)	7
Figura 2-5: Introducción de comando en la consola. (FACTORY I/O)	7
Figura 2-6: Apertura de una escena (FACTORY I/O)	8
Figura 2-7: Apertura de escenas definidas por el programa (FACTORY I/O)	9
Figura 2-8: Ejemplo de creación de escena (1).	10
Figura 2-9: Ejemplo de creación de escena (2).	11
Figura 2-10: Ejemplo de creación de escena (3).	11
Figura 2-11: Ejemplo de creación de escena (4).	12
Figura 2-12: Ejemplo de creación de escena (5).	12
Figura 2-13: Ejemplo de creación de una escena (6).	13
Figura 2-14: Ejemplo de creación de escena (7).	13
Figura 2-15: Forzado de las variables para el control manual.	14
Figura 2-16: Logotipo Software CODESYS.	15
Figura 2-17: Logotipo Software Citect Scada.	17
Figura 2-18: Creación de un nuevo proyecto en CODESYS.	18
Figura 2-19: Pantalla de inicialización del proyecto estándar (CODESYS)	18
Figura 2-20: Creación de lista de variables globales (CODESYS).	19
Figura 2-21: Lista de variables globales del ejemplo tutorial.	20
Figura 2-22: Lista de variables locales del ejemplo tutorial.	21
Figura 2-23: Desarrollo del código en PLC_PRG (PRG)	23
Figura 2-24: Apertura de CODESYS Control Win V3-x64	24
Figura 2-25: Conexión entre CODESYS y CODESYS Control Win V3-x64.	24

Figura 2-26: Creación de Configuración de Símbolos en CODESYS.	25
Figura 2-27: Botón de apertura del Configurador del controlador (FACTORY I/O)	26
Figura 2-28: Selección del controlador. (FACTORY I/O).	26
Figura 2-29: Configuración OPC UA (FACTORY I/O)	27
Figura 2-30: Asignación de sensores y actuadores a las variables globales de CODESYS.	27
Figura 2-31: Creación de un nuevo proyecto en Citect SCADA.	28
Figura 2-32: Activación del proyecto creado en Citect Scada.	29
Figura 2-33: Creación de un dispositivo nuevo en Citect SCADA.	29
Figura 2-34: Creación y nombramiento del nuevo dispositivo (Citect SCADA)	30
Figura 2-35: Método de comunicación del dispositivo.	30
Figura 2-36: Dirección del servidor OPC.	31
Figura 2-37: Vinculación del dispositivo E/S.	31
Figura 2-38: Selección de las variables que se comunicarán.	32
Figura 2-39: Variables cargadas en Citect SCADA.	32
Figura 2-40: Configurador Citect SCADA (1).	33
Figura 2-41: Configurador Citect SCADA (2).	34
Figura 2-42: Asistente de configuración de Citect SCADA.	34
Figura 3-1: Vista general de la planta.	35
Figura 3-2: Tipología y composición de piezas terminadas.	36
Figura 3-3: Centros de mecanizado de la planta.	37
Figura 3-4: Cinta de entrada al centro de mecanizado de tapas.	37
Figura 3-5: Vista en planta del sistema suministrador de piezas para CNC bases.	38
Figura 3-6: Vista en planta de las cintas de salida de los centros de mecanizado.	39
Figura 3-7: Ensambladora y sistemas de posicionamiento.	41
Figura 3-8: Visión general de la estación de tratamientos químicos.	42
Figura 3-9: Barrera de parada al comienzo de la zona de chorreado de químicos.	43
Figura 3-10: Elementos de salida de la estación de químicos.	44
Figura 3-11: Visión general de la estación clasificadora de piezas terminadas.	46
Figura 3-12: Visión general de la estación de embalaje.	47
Figura 3-13: Relación de cajas con sus respectivas piezas.	48
Figura 3-14: Visión general de la estación de paletizado	49
Figura 3-15: Cintas transportadoras de unión entre la estación de embalaje y la paletizadora	50
Figura 3-16: Visión general de la estación de almacenaje.	54
Figura 3-17: Ubicación en planta de los sensores de la estación de mecanizado.	58
Figura 3-18: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de mecanizado.	60
Figura 3-19: Ubicación en planta de los sensores de la estación de ensamblaje.	61
Figura 3-20: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de ensamblaje.	63
Figura 3-21: Ubicación en planta de los sensores de la estación de tratamientos químicos.	64
Figura 3-22: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de tratamientos químicos.	65

Figura 3-23: Ubicación en planta de los sensores de la estación clasificadora.	66
Figura 3-24: Ubicación en planta de los actuadores de la estación clasificadora.	68
Figura 3-25: Ubicación en planta de sensores y actuadores de la estación de embalaje.	69
Figura 3-26: Ubicación en planta de los sensores de la estación de paletizado.	71
Figura 3-27: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de paletizados.	73
Figura 3-28: Ubicación en planta de los sensores de la estación de almacenaje.	76
Figura 3-29: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de almacenaje.	78
Figura 3-30: Cuadro de control de los almacenes.	79
Figura 3-31: Operadores y señales del cuadro HMI de la planta	81
Figura 4-1: Control y jerarquía entre los diferentes modos de funcionamiento y parada.	85
Figura 4-2: Activación de la bandera SFCReset.	88
Figura 4-3: Declaración de la variable interna SFCReset.	88
Figura 5-1: Pantalla gráfica de los centros de mecanizado (SCADA)	91
Figura 5-2: Pantalla gráfica de la estación de tratamiento químicos (SCADA)	92
Figura 5-3: Pantalla gráfica del almacén de piezas plásticas (SCADA).	94
Figura 5-4: Iconos gráficos para entradas en el almacén de pieza plásticas (SCADA)	94
Figura 5-5: Pantalla gráfica del almacén de piezas metálicas (SCADA).	95
Figura 5-6: Icono gráfico para entradas en el almacén de pieza metálicas (SCADA)	95

Notación

PLC	Power line communication
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
HMI	Human-machine interface
POU	Bloque programable.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Este trabajo fin de máster surge como la continuación de los conocimientos, motivación y ganas de seguir profundizando en la materia, obtenidas tras haber cursado la asignatura obligatoria del primer curso del máster, llamada “Automatización y Control de Sistemas Productivos”

En la asignatura “Automatización y Control de Sistemas Productivos” se trabajó con CODESYS en su versión 2.3 y durante las prácticas de laboratorio se procedió a la automatización de una serie de plantas 3D, ya definidas, que proporcionaba el software educativo ITS PLC PROFESSIONAL EDITION, desarrollado por Real Games. Este software ofrecía la posibilidad de utilizar un PLC externo con el que controlar las diferentes escenas predefinidas.

El motivo que ha llevado a continuar por esta senda de trabajo es que existe otro software educativo de Real Games llamado FACTORY I/O que permite la posibilidad de crear libremente plantas industriales. Además, también ofrece escenas ya predefinidas que se podrán utilizar, si se desea, para iniciar el proceso de creación en base a alguna de ellas.

Por otra parte, FACTORY I/O ofrece la posibilidad de controlar las escenas creadas, de diferentes maneras, siendo posible el control mediante CODESYS. Esto resulta especialmente interesante puesto que podría ser susceptible de incorporarse como opción a los proyectos de la asignatura anteriormente citada y evitar así la creación de visualizaciones en CODESYS, tarea que resulta engorrosa y una opción menos llamativa que la posibilidad de disponer elementos en las tres dimensiones del espacio.

Ya sólo falta conocer como se va a conseguir controlar la planta diseñada en FACTORY I/O a través del programa creado en CODESYS. La solución es sencilla. Una vez estudiados los diversos sistemas de comunicación que ofrece FACTORY I/O se decidió emplear la comunicación a través del servidor OPC, debido a que esta tecnología de comunicación resulta muy habitual en la industria actual.

Como parte secundaria de este proyecto, se añadió la configuración de un sistema SCADA mediante la creación de pantallas gráficas, que permitan la supervisión de las diferentes partes de la planta diseñada en FACTORY I/O. En un principio, el software elegido para incorporar el sistema SCADA, era Wonderware, sin embargo, tras meses de problemas con las licencias, se acabó empleando Citect Scada 2018 R2, desarrollado por Schneider y AVEVA. Este software tendrá acceso a las variables de CODESYS, de nuevo gracias a la comunicación OPC empleada.

Habiendo descrito los objetivos fundamentales y el alcance del trabajo, se van a enumerar las fases necesarias para alcanzar dichos objetivos. Las fases necesarias son las siguientes:

- 1) Adquisición de los conocimientos necesarios para la creación de la planta en FACTORY I/O, la cual deberá entrañar un grado de dificultad elevado.
- 2) Familiarización con la versión 3.5 de CODESYS y realización del programa, el cual se realizará empleando todos los lenguajes de programación estudiados previamente.
- 3) Configuración de FACTORY I/O y CODESYS para la realización de la comunicación a través del servidor OPC.
- 4) Configuración de Citect SCADA 2018 R2 para la correcta configuración con CODESYS.

- 5) Creación de las pantallas gráficas del SCADA, utilizando las funcionalidades más comunes de cualquier SCADA en la industria actual.
- 6) Documentación de todo el proceso llevado a cabo para el diseño y control de la planta.

Una vez alcanzado los objetivos, se habrán aumentado los conocimientos en programación de PLCs, aprendizaje que comenzó durante el transcurso de la asignatura previamente comentada. Sin embargo, también se habrán ganado conocimientos nuevos tales como la comunicación a través del servidor OPC o el manejo a nivel básico de un SCADA.

2 INFORMACIÓN SOFTWARE

Como bien se ha comentado previamente, para el diseño, automatización y supervisión de la planta industrial diseñada, se han utilizado tres programas o softwares: en primer lugar, FACTORY I/O para el diseño de la planta, en segundo lugar, CODESYS para el desarrollo de las distintas POU's que permitan controlar la planta siguiendo los modos de funcionamiento que se deseen y, por último, Citect SCADA 2018 R2 para la creación de pantallas que permitan la supervisión de la planta.

En las siguientes secciones, se describirá toda la información relevante de los programas con el fin de facilitar el entendimiento de la planta diseñada.

2.1 FACTORY I/O

FACTORY I/O es un software de simulación de fábricas o plantas industriales en las tres dimensiones del espacio que permite aprender de manera muy interactiva las tecnologías de automatización existentes en la industria actual. En la *Figura 2-1*, se muestra el logotipo actual del programa.



Figura 2-1: Logotipo FACTORY I/O versión 2.4.5

FACTORY I/O permite construir rápidamente una planta industrial virtual con una serie de elementos industriales comunes como cintas, transportadores de rodillos, tanques, etc. Además de construir una planta industrial desde cero, también permite abrir escenas que vienen creadas por defecto en el programa y que se corresponden con partes muy comunes en muchas de las plantas automatizadas que se pueden encontrar en la industria. Este software es compatible con muchas tecnologías como microcontroladores, SoftPLC, sin embargo, al ser el PLC el controlador más común, servirá como plataforma de capacitación de PLC.

Por último, cabe destacar que el desarrollador del software es Real Games, el cual tras años de trabajo ha obtenido este software de simulación ampliamente implantado en centros de investigación y en universidades.

2.1.1 Primer contacto con FACTORY I/O

Para abordar las especificaciones de la planta, previamente se hace necesario acometer una serie de conceptos iniciales. Esto incluye la navegación a través de los diferentes menús, el control de las cámaras, así como el montaje de las escenas. Una vez explicados estos conceptos, se estará en disposición de explicar las especificaciones de la planta automatizada, así como la situación de los sensores y actuadores.

A continuación, se irán desglosando las distintas categorías de conceptos, mostrando una serie de figuras que faciliten al lector la comprensión de los comandos explicados. En la *Figura 2-2*, se observa la interfaz inicial cuando se abre una nueva escena.

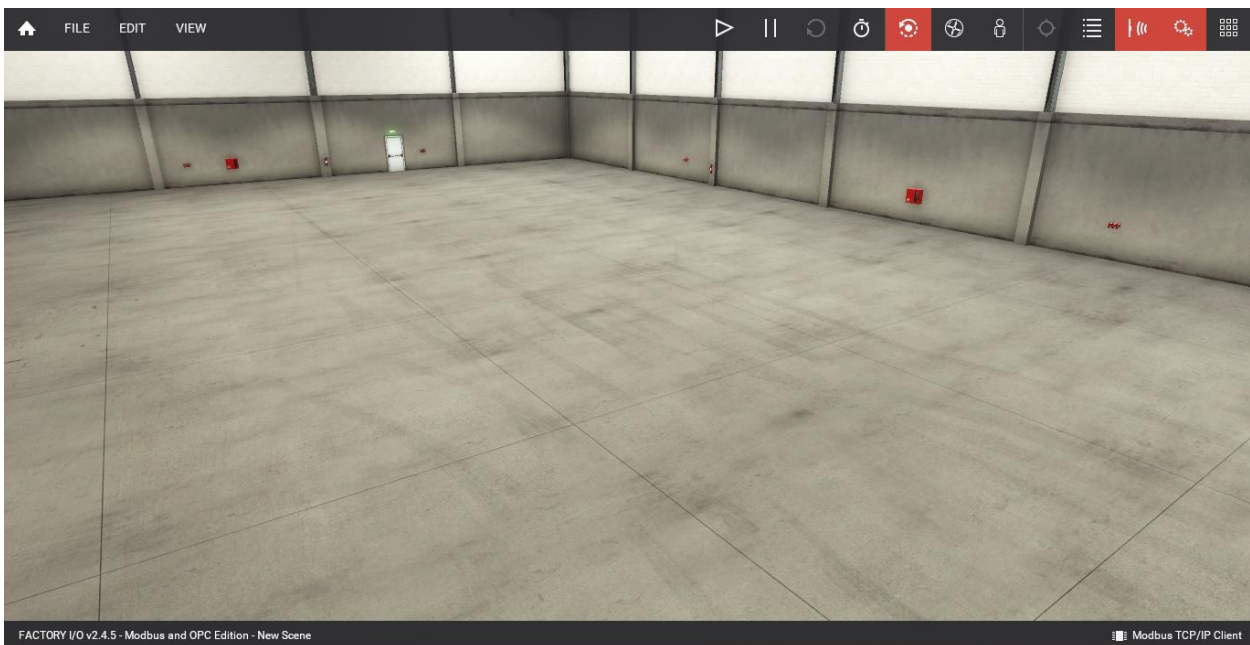


Figura 2-2: Escena nueva para construir la planta virtual. (FACTORY I/O)

2.1.1.1 Navegar a través de la escena.

El programa permite navegar a través de la escena gracias a tres cámaras que resultan fundamentales a la hora de interactuar con piezas y elementos, así como de ir construyendo la escena con sus múltiples estaciones de procesos.

Las tres cámaras son la cámara de Órbita u Orbit, la cámara aérea o Fly y, por último, la cámara de primera persona o First Person. Cada una de las cámaras está creada con un propósito funcional específico. En la *Figura 2-3*, se muestra la disposición de los comandos de inicio de las tres cámaras.

La cámara de órbita es la cámara que aparece por defecto una vez abierta la escena y es la más adecuada para colocar los elementos necesarios en la escena cuando se está construyendo la planta. Esta cámara resulta imprescindible en la construcción de la escena puesto que es la única que permite el movimiento en la escena a través de piezas sin colisionar con ellas.

Su funcionamiento resulta sencillo, basta con hacer doble clic izquierdo en una parte y girar alrededor de un punto de interés que aparecerá como un punto blanco. Una vez se tenga definido este punto, la cámara girará pulsando el botón derecho del ratón y arrastrando este. Cabe destacar que las piezas nuevas sacadas de la paleta de ítems aparecerán a una altura definida por el punto de interés, exceptuando los elementos que normalmente se sitúan en el suelo como cintas, estaciones o transportadores. En la *Tabla 2-1*, se muestran los controles necesarios para el movimiento de esta

cámara. [5]

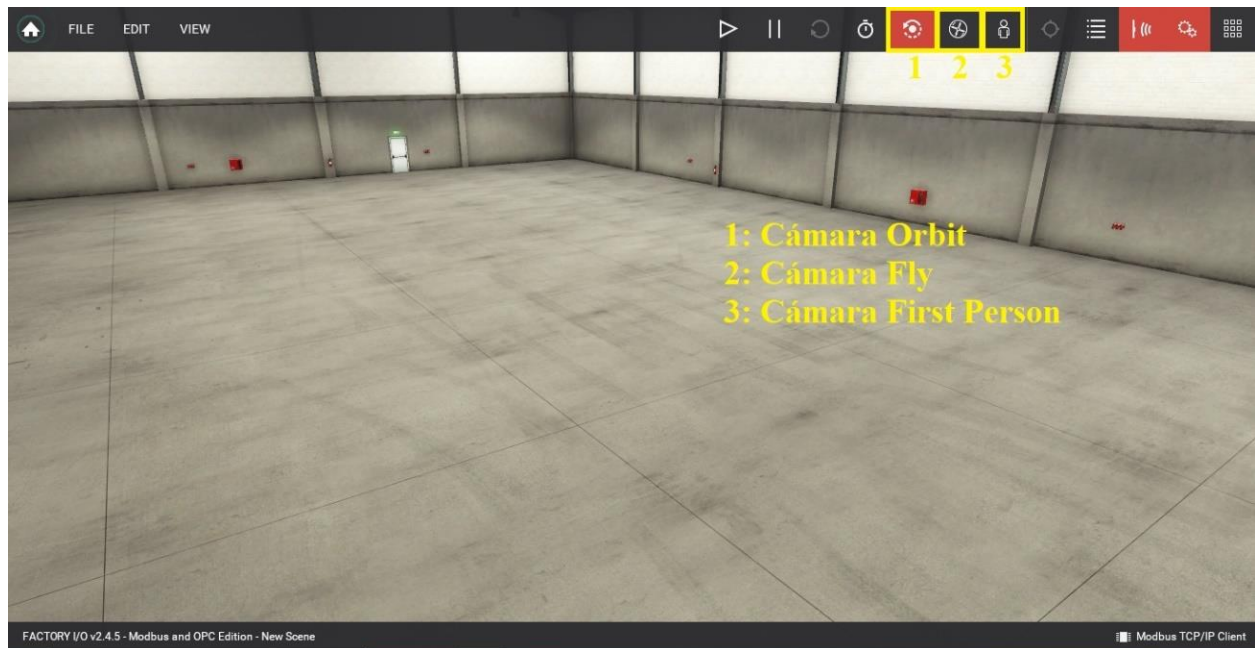


Figura 2-3: Disposición de los comandos de inicialización de las cámaras (FACTORY I/O)

Tabla 2-1: Controles de la cámara Orbit (FACTORY I/O)

Controles	Movimientos.
<i>Doble clic botón izquierdo</i>	Se define el punto de interés de la cámara para que así la cámara gire alrededor de ese punto
<i>Clic botón derecho + Arrastrar</i>	Giro de la cámara alrededor del punto de interés definido.
<i>Clic rueda + Arrastrar</i>	Encuadre de la cámara. Permite mover la cámara horizontalmente.
<i>Giro rueda del ratón</i>	Zoom de la cámara. Permite acercar y alejar la cámara.
<i>Tecla de retroceso (Backspace)</i>	Restablece la cámara en su posición y rotación predeterminadas.

A continuación, se pasa a detallar las características y controles de la cámara aérea o cámara Fly.

La cámara aérea será utilizada cuando por las circunstancias del momento, se requiera el movimiento libremente a través de las tres dimensiones del espacio. Esta cámara colisiona con las partes y elementos existentes en la escena, sin embargo, no es detectada por los sensores que allí se encuentren. Los controles de la cámara aérea son los recogidos en la *Tabla 2-2*. [5]

Tabla 2-2: Controles de la cámara Fly (FACTORY I/O).

<i>Controles</i>	<i>Movimientos.</i>
<i>Doble clic botón izquierdo</i>	La cámara se colocará mirando hacia donde apunta el cursor del ratón.
<i>Clic botón derecho + Arrastrar</i>	Giro de la cámara.
<i>Giro rueda del ratón</i>	Permite el movimiento vertical de la cámara en la escena
<i>Clic botón izquierdo+ clic botón derecho</i>	Movimiento de la cámara hacia adelante.
<i>W o Arriba</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia adelante.
<i>S o Abajo</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia atrás.
<i>A o Izquierda</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia la izquierda.
<i>D o Derecha</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia la derecha.

Por último, se comentarán las características de la cámara en primera persona. Esta cámara ofrece la visión que tendría una persona de 1,8 m de altura moviéndose por la fábrica o planta virtual diseñada. Al igual que ocurriría con una persona en la vida real, choca con las partes de la escena que obstaculicen su camino y de forma predeterminada, los sensores no detectan a la persona. Sin embargo, existe la posibilidad de configurar la cámara para que los sensores si detecten a la persona, colocando a uno el comando “camera.fp_detected”. En las *Figuras 2-4 y 2-5* se muestra como abrir la consola y ejecutar el comando previamente comentado. [5]

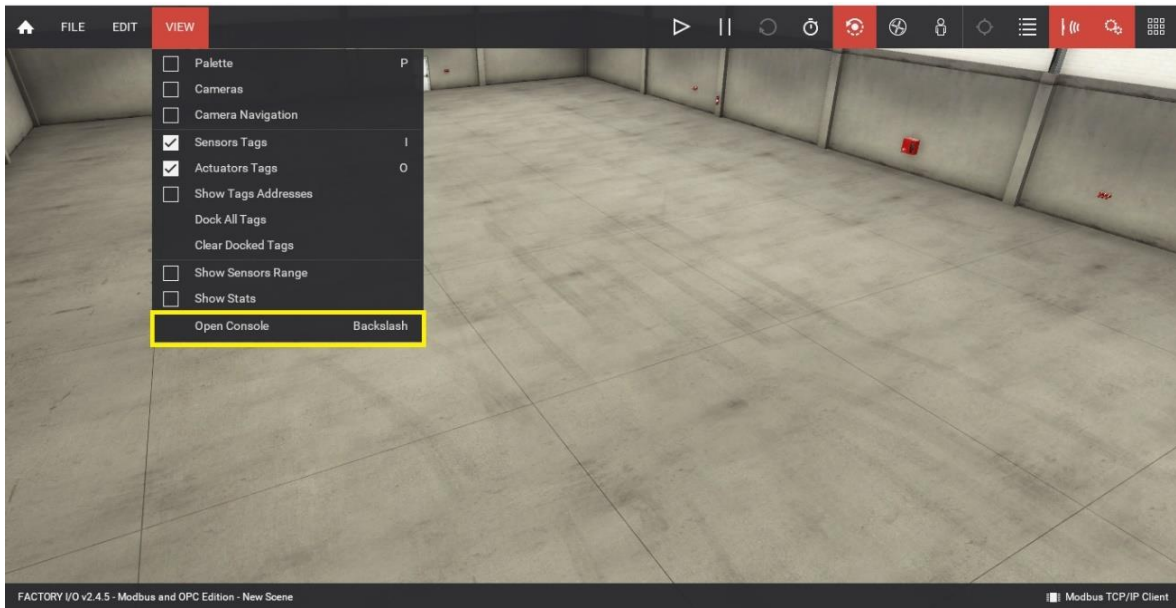


Figura 2-4: Apertura de la consola de comandos (FACTORY I/O)

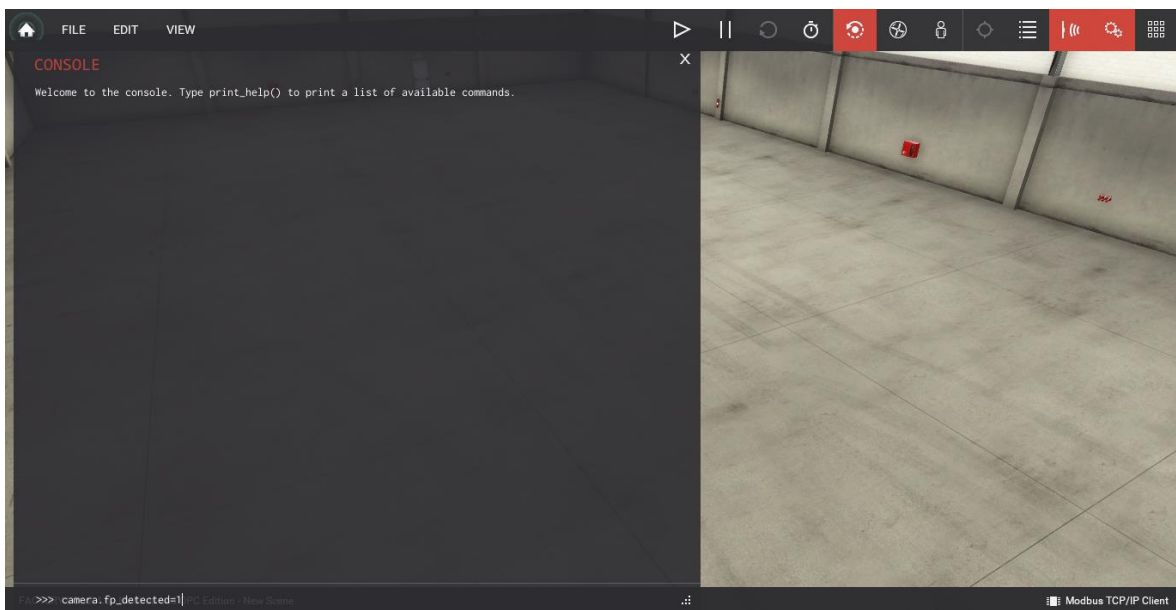


Figura 2-5: Introducción de comando en la consola. (FACTORY I/O)

En la *Tabla 2-3* quedan recogidos los controles de la cámara en primera persona para así facilitar su manejo dentro del programa. [5]

Tabla 2-3: Controles de la cámara First Person (FACTORY I/O).

<i>Controles</i>	<i>Movimientos.</i>
<i>Doble clic botón izquierdo</i>	Fija la mirada de la cámara hacia donde apunte el cursor del ratón

<i>Clic botón derecho + Arrastrar</i>	Giro de la cámara.
<i>Clic botón izquierdo+ clic botón derecho</i>	Movimiento de la cámara hacia adelante.
<i>W o Arriba</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia adelante.
<i>S o Abajo</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia atrás.
<i>A o Izquierda</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia la izquierda.
<i>D o Derecha</i>	Permite el movimiento de la cámara hacia la derecha.
<i>Espacio</i>	Simula un salto de la persona virtual.

2.1.1.2 Abrir una escena.

La apertura de una escena nueva o existente es un proceso muy rápido y sencillo. Basta con seleccionar la opción “Abrir” de la lista desplegable del menú “Archivo”. En la *Figura 2-6* se puede observar la forma de llevar a cabo la apertura de una escena.

En caso de ser la primera vez que se va a abrir una escena o se quiera una escena nueva, se seleccionará la acción “Nuevo” dentro de la lista del menú.

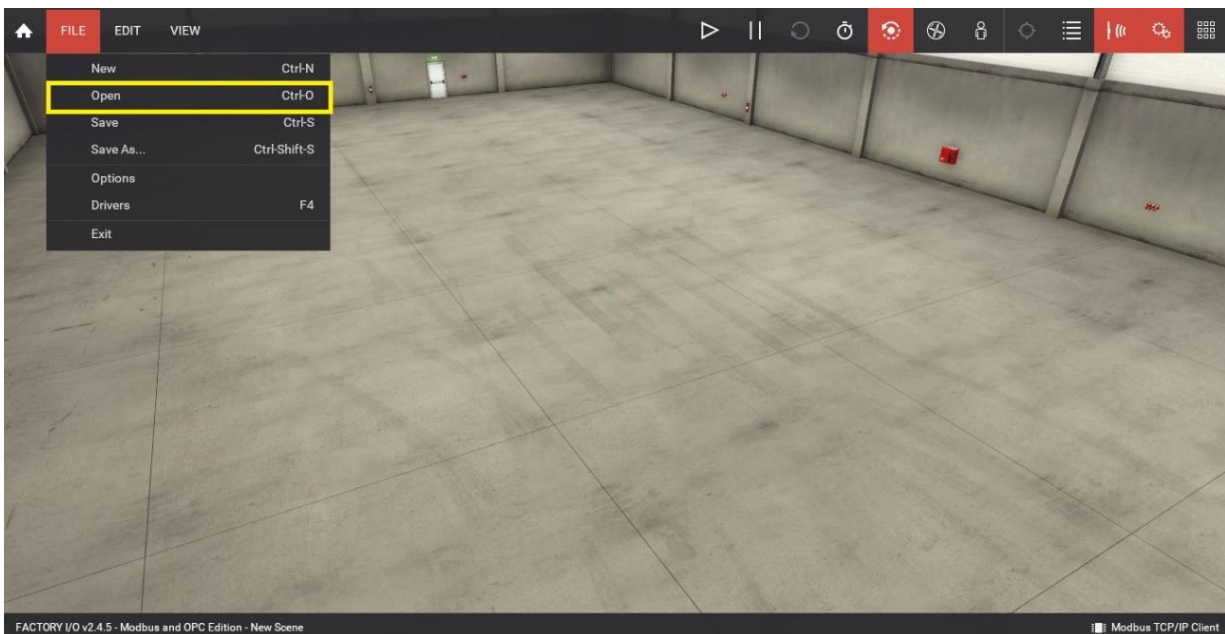


Figura 2-6: Apertura de una escena (FACTORY I/O)

Por otra parte, FACTORY I/O cuenta con 21 escenas elaboradas y clasificadas de menor a mayor complejidad, de las que también se podrá hacer uso e incluso guardarlas con un nombre personalizado y trabajar sobre ellas, añadiendo o quitando elementos. Es fundamental guardarlas de nuevo con otro nombre para no alterar la escena predeterminada. Para acceder a ellas, se seleccionará la pestaña “Escenas”, tal y como se puede ver en la *Figura 2-7* junto con las distintas escenas ya elaboradas. [5]

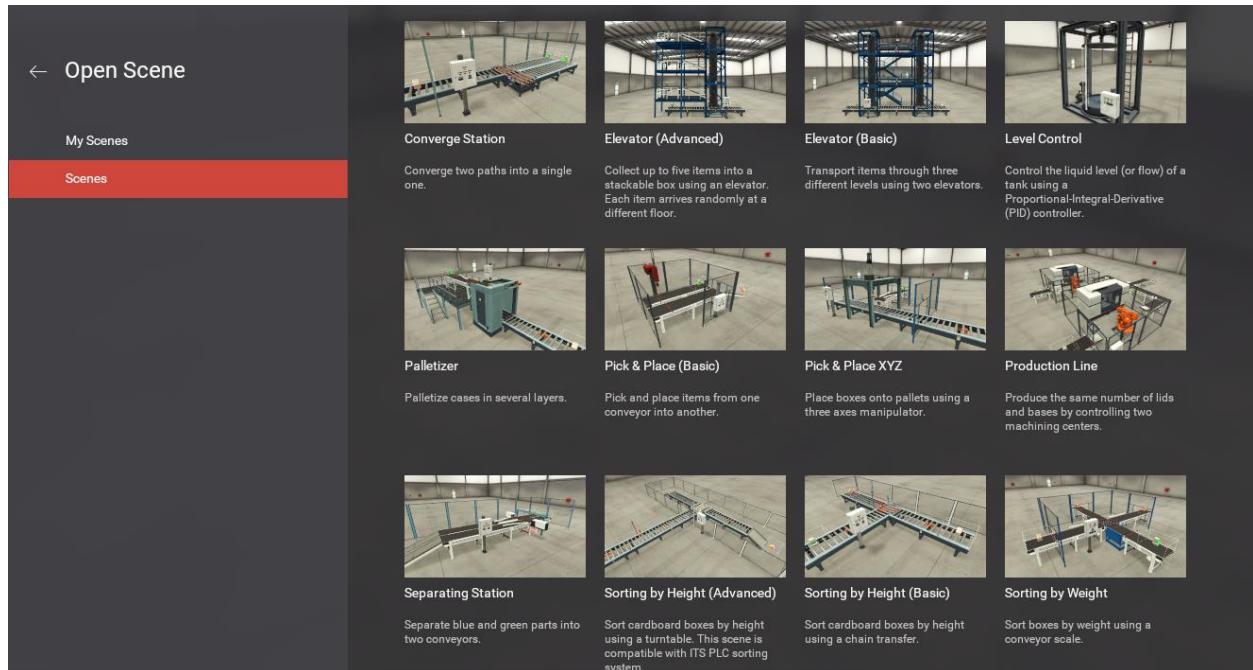


Figura 2-7: Apertura de escenas definidas por el programa (FACTORY I/O)

2.1.1.3 Creación de una escena nueva.

Como bien se ha comentado, el software cuenta con una serie de piezas y elementos inspirados en los equipos industriales más comúnmente utilizados en la industria actual. A partir de colocar y organizar elementos y piezas de forma conjunta, se puede crear una planta o fábrica virtual con diferentes niveles de complejidad. A continuación, se mostrarán los pasos necesarios para aprender a construir una escena:

- 1) Se seleccionará “Archivo” entre las distintas opciones que aparecen en la barra superior del programa. Dentro de “Archivo”, se elegirá “Nuevo” para crear una escena vacía en la que poder colocar los elementos que se necesiten para simular la fábrica virtual.
- 2) El siguiente paso será seleccionar la cámara Orbit en la barra de herramientas, puesto que es la cámara que permite la edición de la escena. Por otra parte, si la paleta donde aparecen todos los ítems y equipos no está visible, se hará clic en el icono de la paleta (ícono superior derecho).
- 3) Dentro de la paleta, se seleccionará la subcategoría de piezas que se necesiten. Acto seguido se hará clic izquierdo encima de la pieza que se requiera y se arrastrará desde la paleta hasta dejarla colocada en la escena. Cuando se crea la nueva pieza aparecerá delimitada por un paralelepípedo blanco que indica que está seleccionada. Si se encuentra seleccionada, se moverá horizontalmente si se arrastra y para moverla en el plano vertical se mantendrá presionada la letra V y se arrastrará el ratón. En la *Figura 2-8* se muestra como se coloca una

cinta transportadora de 4 m, seleccionando previamente la categoría de elementos de carga ligeros.



Figura 2-8: Ejemplo de creación de escena (1).

- 4) Una vez sacada la pieza de la paleta se debe comprobar que efectivamente la misma se encuentra a la altura deseada. En caso de tratarse de transportadores o cintas como la mostrada en la figura anterior, lo normal es que se encuentren situadas en el suelo. Para visualizarlo fácilmente, se hará doble clic izquierdo en el elemento de forma que se establezca un punto de interés sobre el que girar la cámara. A continuación, se podrá, con la rueda del ratón, ampliar la zona seleccionada y comprobar la altura de la pieza. En caso de que no sea así, se moverá verticalmente tal y como se ha descrito en el paso anterior.
- 5) A continuación, se seleccionará la categoría de sensores en la paleta. Haciendo doble clic izquierdo en un sensor difuso y arrastrando, se situará en la escena. Mientras se sostiene el botón izquierdo, se podrá llevar el sensor al borde de la cinta. El proceso es simple, mientras el sensor esté seleccionado, si mantenemos pulsado el botón izquierdo, se podrá llevar este al lugar donde se desee. En la *Figura 2-9*, se muestra como colocar el sensor difuso al borde de la cinta.
- 6) En este paso, se aprenderá como duplicar un elemento de los ya colocado en escena. Si se hace clic derecho en el sensor difuso previamente colocado y se selecciona la opción “Duplicar” del menú contextual aparecerá otro sensor de las mismas características. A continuación, se podrá mover al otro extremo de la cinta transportadora como se observa en la *Figura 2-10*.

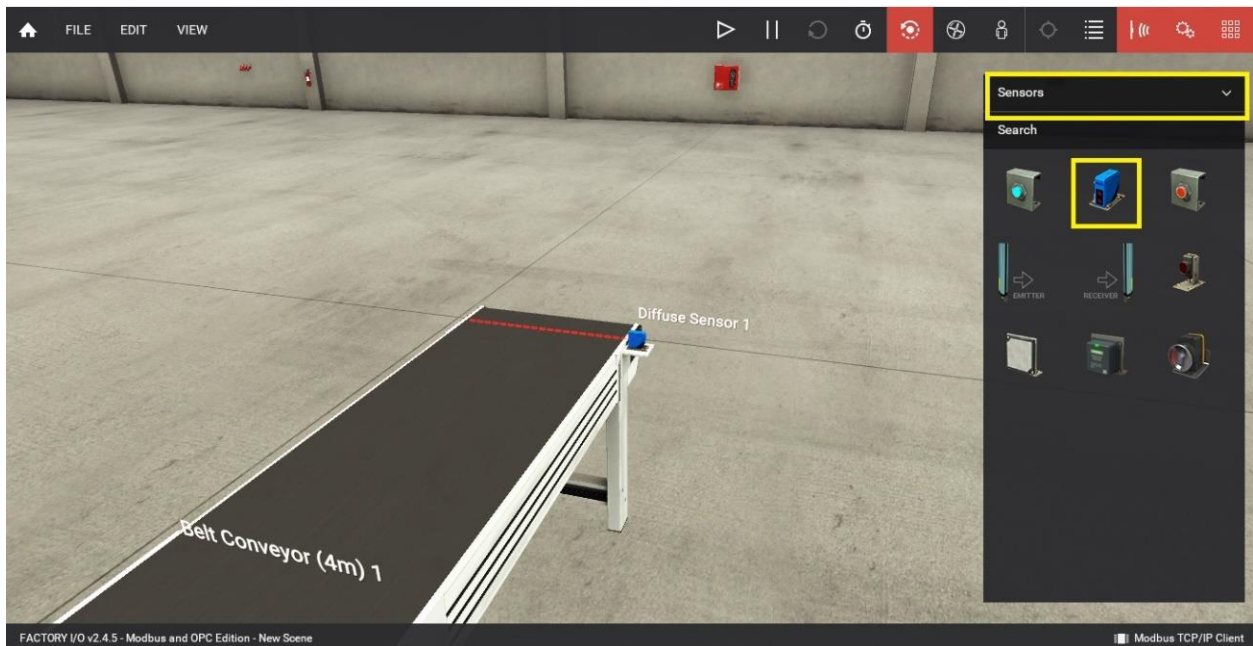


Figura 2-9: Ejemplo de creación de escena (2).

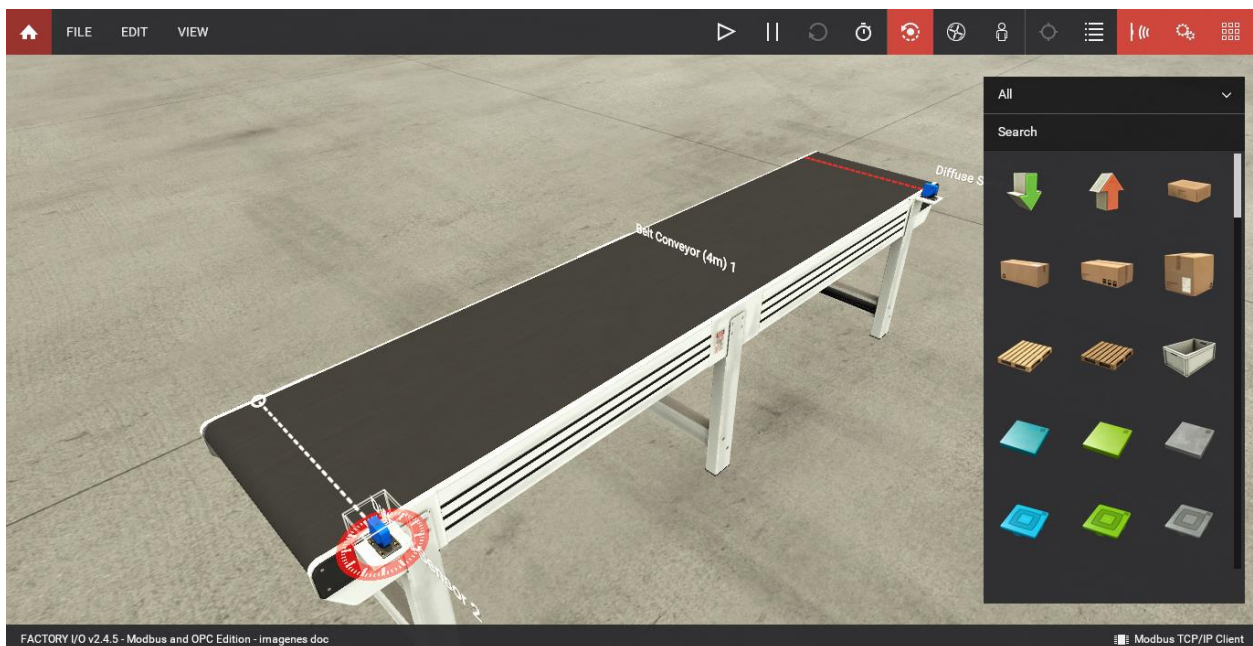


Figura 2-10: Ejemplo de creación de escena (3).

- 7) Como siguiente paso, se seleccionarán los dos sensores y la cinta transportadora. Para ello, se utilizará la herramienta de selección rectangular por el botón izquierdo del ratón sobre el fondo de la escena y se buscará dibujar un rectángulo que interseccione a todas las piezas que se quieren incluir dentro de la selección (véase *Figura 2-11*).

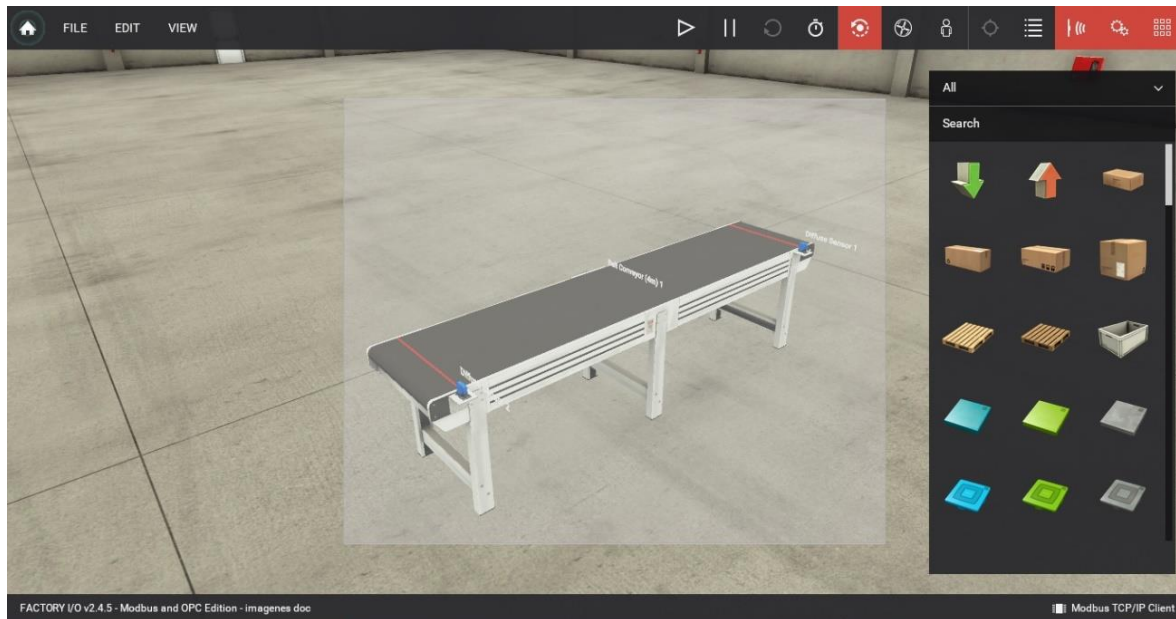


Figura 2-11: Ejemplo de creación de escena (4).

- 8) Una vez realizada la selección de todas las piezas, se pueden agrupar de una forma sencilla. Sobre la selección se hará clic derecho y se seleccionará la opción “Agrupar” del menú contextual. De igual forma, si una vez agrupados se quiere desagrupar las piezas, se realizará seleccionando la opción “Desagrupar”. También existe la posibilidad de seleccionar una pieza dentro del grupo presionando la tecla Ctrl y haciendo clic con el botón izquierdo.
- 9) De igual forma que se hizo para los sensores, se seleccionará el grupo completo formado por la cinta transportadora y los dos sensores y se duplicará haciendo clic derecho y eligiendo “Duplicar”. A continuación, se moverá el grupo creado hacia una posición válida. Si aparece un cuadro rojo rodeando a grupos o elementos, indica que estos se cruzan con otros elementos y desaparecerán al cambiar al modo ejecución. En la *Figura 2-12*, se puede ver como quedarían las dos cintas colocadas.

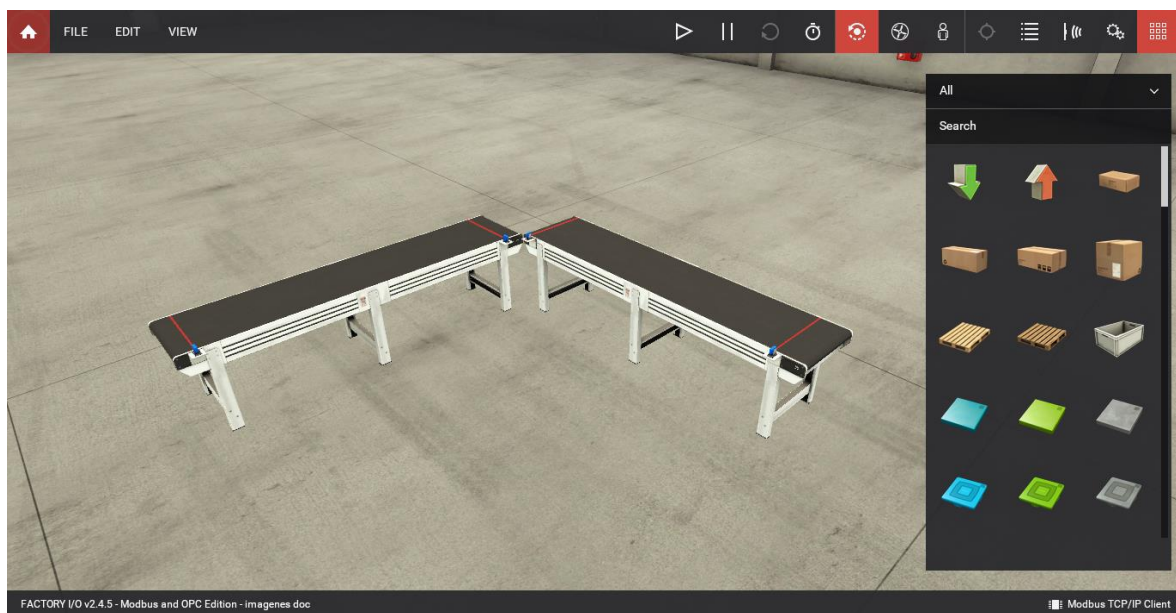


Figura 2-12: Ejemplo de creación de escena (5).

10) Elija de nuevo la categoría de elementos de carga ligeros, haga clic izquierdo y arrastre a la escena una cinta curva que una a los dos grupos que se indicaban en la figura anterior. Cabe destacar que en ocasiones es necesario girar las piezas. Para ello, se hará clic derecho sobre la selección y se hará clic sobre la opción “Yaw” + o – para rotarlo. Así como la gran mayoría de las piezas solo giran ángulos rectos, los sensores permiten cualquier ángulo de rotación sobre su eje.

Por otra parte, tanto las cintas como la mayoría del resto de elementos poseen una flecha blanca que indica la dirección del movimiento.

En la *Figura 2-13* se puede ver la disposición de los distintos elementos hasta este punto.

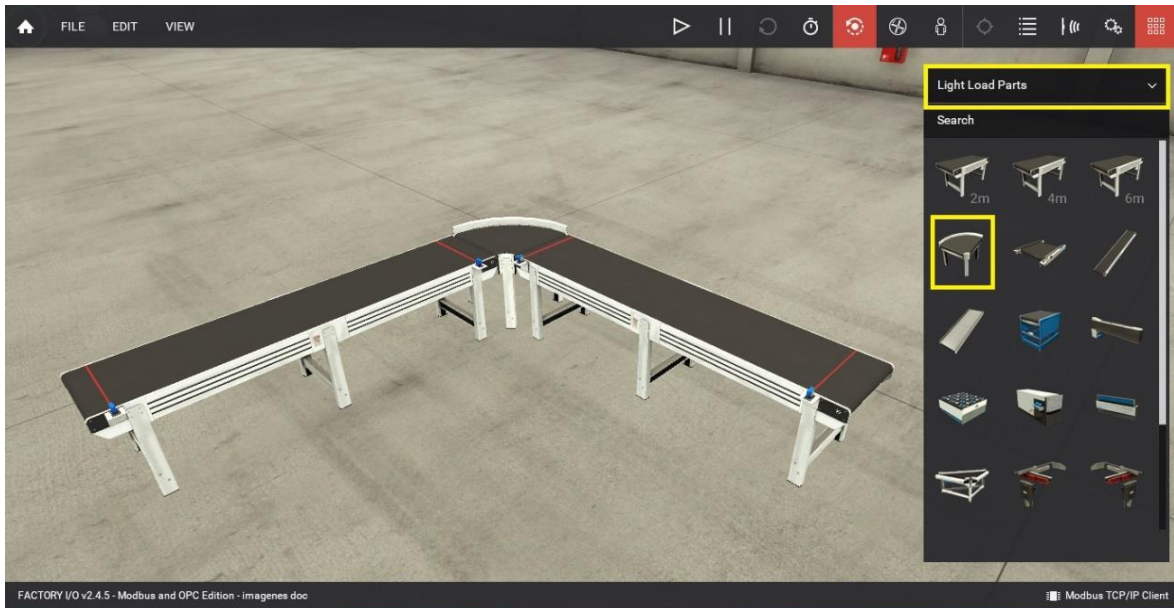


Figura 2-13: Ejemplo de creación de una escena (6).

11) Por último, dentro de la categoría de “Artículos” de la paleta, se tomará una caja de cualquier tamaño y se situará en la primera cinta transportadora tal y como se muestra en la *Figura 2-14*.

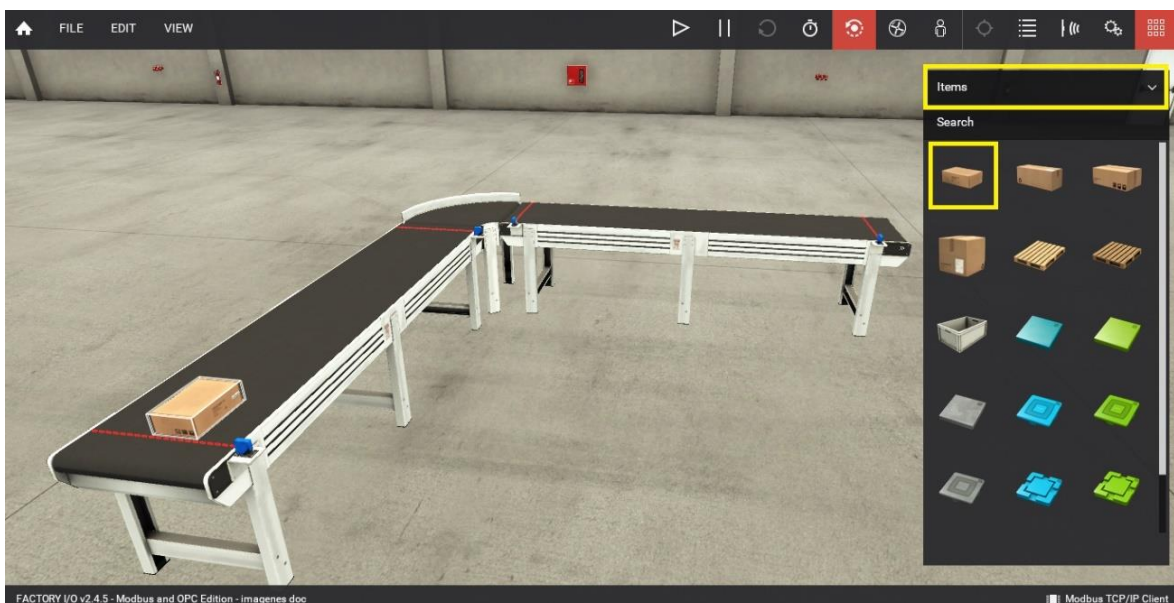


Figura 2-14: Ejemplo de creación de escena (7).

- 12) En este punto, la escena estará totalmente construida y es el momento de guardar los cambios realizados. Haciendo clic en “Archivo” y “Guardar”. Se le asignará un nombre y se hará clic de nuevo en “Guardar”. Una vez realizado este paso, aparecerá la escena entre las posibles escenas que se pueden abrir en “Mis Escenas”. [5]

Por último, entre los conceptos básicos necesarios para comenzar la utilización de Factory I/O, se encuentra la posibilidad de controlar la escena creada de forma manual. En el siguiente apartado, se recogerá la forma de realizar este control.

2.1.1.4 Control manual de una escena.

Para poder comprobar que una escena va a realizar las acciones que se esperan de ella, resulta fundamental probarla manualmente para así, corroborar que todo el conjunto funcione correctamente. Por otra parte, resulta indispensable controlar la escena de forma manual como paso previo a la conexión con el PLC u otro tipo de controlador externo. Para efectuar de una forma efectiva el control manual, es necesario conocer que son las etiquetas y como se usan para controlar sensores y actuadores manualmente.

Cualquier sensor o actuador que se ponga en la escena tendrá al menos una etiqueta. Las etiquetas no son más que un nombre y un valor y se diferencian de dos tipos: etiquetas de sensores y etiquetas de actuadores. Además, pueden contener tres tipos de datos diferentes: booleano para dos posibles opciones (encendido/ apagado), flotante para valores analógicos y enteros para valores discretos.

En el proceso de control manual, se podrán forzar los valores de las etiquetas, sean del tipo que sean, y así desempeñar el papel del controlador específico del que se disponga. Bastará con forzar las etiquetas de los actuadores para controlar manualmente la escena (véase Figura 2-15) [5]

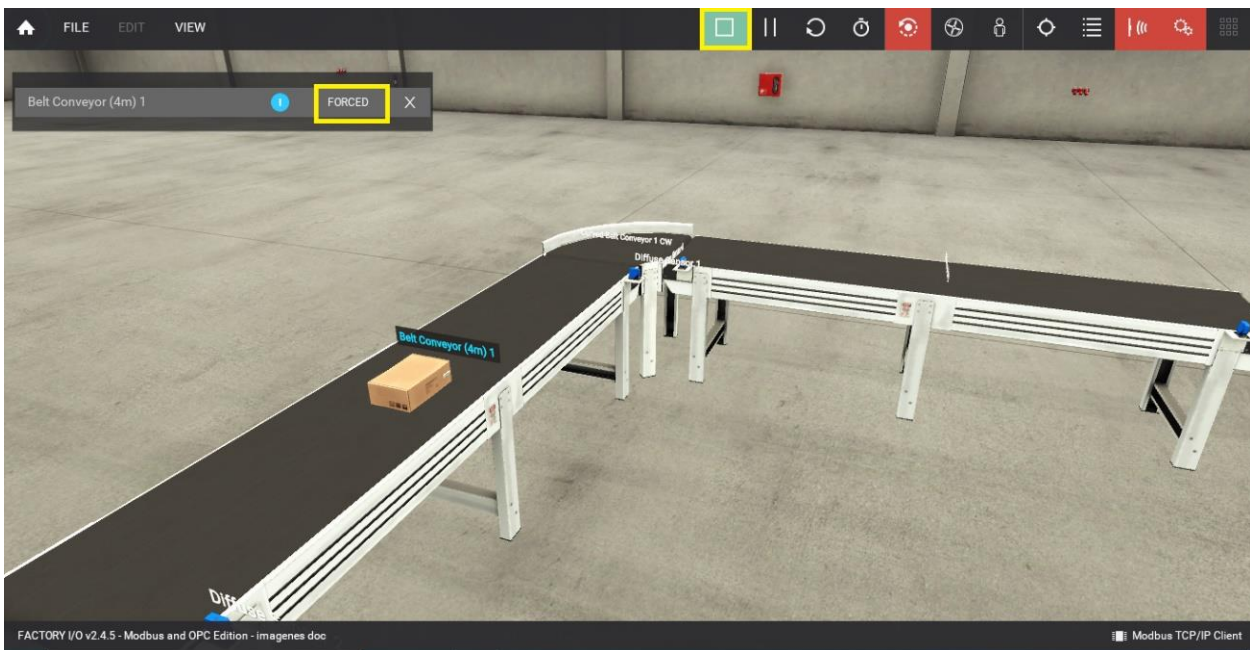


Figura 2-15: Forzado de las variables para el control manual.

Habiendo explicado todos los aspectos necesarios de FACTORY I/O para su correcto manejo en busca de cumplir los objetivos del trabajo, se va a pasar a explicar el siguiente programa necesario para el desarrollo y ejecución de la planta virtual.

2.2 CODESYS.

El grupo CODESYS es el fabricante del software CODESYS, el software de automatización IEC 61131-3, además del hardware líder para el desarrollo y la ingeniería de aplicaciones de controladores.

CODESYS es un software que permite la programación de controladores industriales como PLCs y, además, permite la creación de visualizaciones gracias a la incorporación de un módulo dentro del propio software [12]. La herramienta integra diversas funciones que se detallan a continuación:

- Estructura del proyecto de automatización en árbol facilitando de esta manera la visualización y configuración de las distintas POU.
- Configurador que ofrece la posibilidad de integrar sistemas de bus de campo.
- La posibilidad de utilizar cualquiera de los distintos lenguajes de programación.
- Incorpora compiladores que hacen posible la transferencia de un código eficiente a los controladores.
- Depuración y simulación para que el usuario fácilmente pueda observar los posibles errores del código generado.

Entre los lenguajes de programación en los que se pueden realizar los códigos destacan:

- IL: lista de instrucciones.
- ST: texto estructurado.
- FBD: diagrama de bloques.
- SFC: diagrama secuencial de bloque
- CFC: diagrama continuo.
- LD: diagrama de contactos.

La decisión de utilizar este software ha sido debido a su versatilidad, que le permite realizar programas de control bastante complejos, a la experiencia adquirida en él durante la asignatura de “Automatización y Control de Sistemas de Producción” y por último la posibilidad de comunicación con controladores virtuales a través de un servidor OPC que a continuación, se explicará en mayor profundidad. Además, es un software muy orientado al aprendizaje y su descarga es gratuita al no requerir ningún tipo de licencia. En la *Figura 2-16*, se puede ver el logotipo del software.

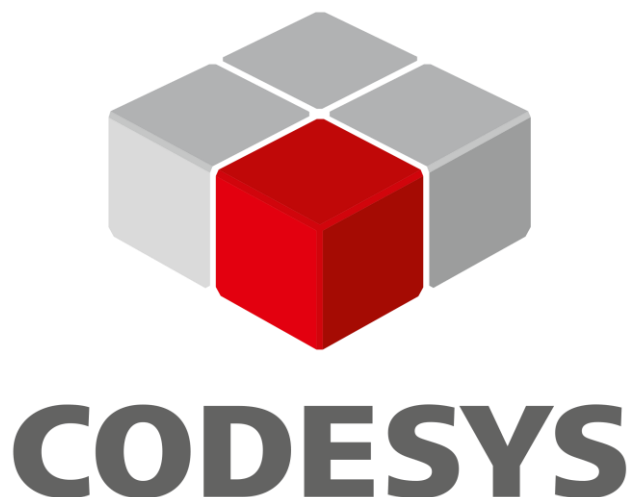


Figura 2-16: Logotipo Software CODESYS.

2.2.1 Servidor OPC (OPC Server)

El servidor OPC constituye la tecnología de comunicación industrial más habitual. Se trata de un protocolo de comunicación basado en una arquitectura de cliente y servidor.

Por su parte, el software, para ser catalogado como servidor OPC debe cumplir con al menos una de las especificaciones que establece la OPC Foundation. [6]

El servidor OPC actúa como interfaz entre fuentes de datos como PLCs, DCSs, básculas, Módulos I/O, controladores, etc. y por el otro lado con clientes OPC como es el caso de SCADAs, HMIs, generadores de informes, generadores de gráficos, etc. En la arquitectura Cliente OPC/ Servidor OPC, el servidor actúa de esclavo mientras que el cliente OPC actúa de maestro. Las Comunicaciones entre ambos se producen en dos las dos direcciones, lo que significa que los Clientes pueden acceder a los dispositivos, bien mediante lectura o escritura, a través del Servidor OPC. [7]

En el trabajo que se está abordando, se utilizará la comunicación mediante Servidor OPC. El motivo principal que ha llevado a usar esta tecnología de comunicación se debe a que en todas las versiones de CODESYS, los procesos pueden comunicarse con dispositivos externos a través de este servidor.

2.3 Citect Scada 2018 R2.

Citect Scada 2018 R2 es el software que se empleará para implementar un sistema SCADA simple de la instalación que se ha configurado. Se requiere como mínimo que la versión del software sea la que se comenta en esta sección, puesto que en versiones previas no se permite la comunicación mediante el servidor OPC, que se empleará para realizar la comunicación entre CODESYS y Citect SCADA.

Citect Scada es un software desarrollado por el grupo AVEVA y Schneider que permitirá supervisar y controlar la planta de forma remota, pudiendo integrar los datos recogidos de los diferentes sensores y equipos mediante los correspondientes protocolos. También permitirá realizar lecturas en tiempo real.

El software es ampliamente conocido por su fiabilidad y flexibilidad por lo que es muy empleado en campos exigentes como son la energía, las infraestructuras o la industria. Además, no es extremadamente complejo y permite su desarrollo en soluciones de cualquier tamaño [11]. Para trabajar con el SCADA se ejecutarán los siguientes programas:

- Explorador Citect: permite la creación y gestión de los proyectos de Citect Scada. Cuando el explorador Citect arranca, también se abrirá el editor gráfico de Citect. De igual forma, las aplicaciones de Citect también se cerrarán al cerrar el explorador. Cabe mencionar que cuando se instala Citect Scada aparecen por defecto los proyectos “Example” y “ExampleSA” que pueden servir de apoyo a la hora de desarrollar la propia aplicación” [11]
- Editor gráfico Citect: el editor gráfico de Citect se empleará para crear y editar las páginas gráficas que se utilicen, así como los objetos y el contenido que se incluya en dichas páginas. [11]

En versiones anteriores del programa existía también el editor de proyecto que en la versión con la que se trabajará viene fusionado con el Explorador Citect y por otra parte el Editor Cicode que se abrirá también desde el explorador y se utilizará para crear y editar funciones Cicode (Citect Code).

Por último, cabe destacar que el software descargado permite la edición por tiempo ilimitado, sin embargo, durante la ejecución o Runtime sólo se dispone de 15 minutos, los cuales serán suficientes

para verificar que las pantallas gráficas se comportan según lo programado.
En la *Figura 2-17* se puede observar el logotipo del software Citect Scada.



Figura 2-17: Logotipo Software Citect Scada.

2.4 Comunicación entre CODESYS y FACTORY I/O a través del Servidor OPC.

Una vez instalados ambos programas, será OPC Unified Architecture el driver que permita a FACTORY I/O intercambiar datos con CODESYS, ya que este último tiene capacidad de comunicarse mediante esta vía, como bien se ha comentado anteriormente.

Cabe mencionar que, para poder realizar la comunicación entre ambos programas, la versión de CODESYS debe ser como mínimo la versión V3.5. Para la realización de este trabajo se ha utilizado CODESYS V3.5 SP16 Patch 2. Al realizar la descarga, se descargó con OPC UA, por ello la configuración del programa que se muestra a continuación es para este servidor concreto.

2.4.1 Configuración de CODESYS OPC UA.

En esta sección se expondrá como utilizar CODESYS con FACTORY I/O a través del servidor OPC UA. Se creará un nuevo proyecto en CODESYS, se configurará para poder trabajar con entradas y salidas de la planta virtual y se programará CODESYS Control Win (SoftPle) para controlar la escena. Para exponerlo de forma secuencial, se utilizará el ejemplo de programación que existe en la documentación de FACTORY I/O. El ejemplo que se utiliza controla la escena “Clasificación por altura (Avanzado)”. [3]

Los pasos que dar son los que se enumeran a continuación:

- 1) Se iniciará CODESYS y se creará un nuevo proyecto en el que comenzar a trabajar.
- 2) Entre las plantillas de nuevo proyecto, se seleccionará “Proyecto estándar”. Acto seguido se elegirá un nombre para el proyecto y se hará clic en “Aceptar”. En la *Figura 2-18*, se muestra visualmente este paso.
- 3) Una vez se ha seleccionado el proyecto estándar, se debe seleccionar el dispositivo mediante el que se realizará la comunicación y el lenguaje de programación que definirá al programa principal o PLC_PRG. En el campo de dispositivo se seleccionará CODESYS Control Win V3 x64 (3S-Smart Software Solutions GmbH) y texto estructura (ST) para PLC_PRG con carácter habitual. (véase *Figura 2-19*).

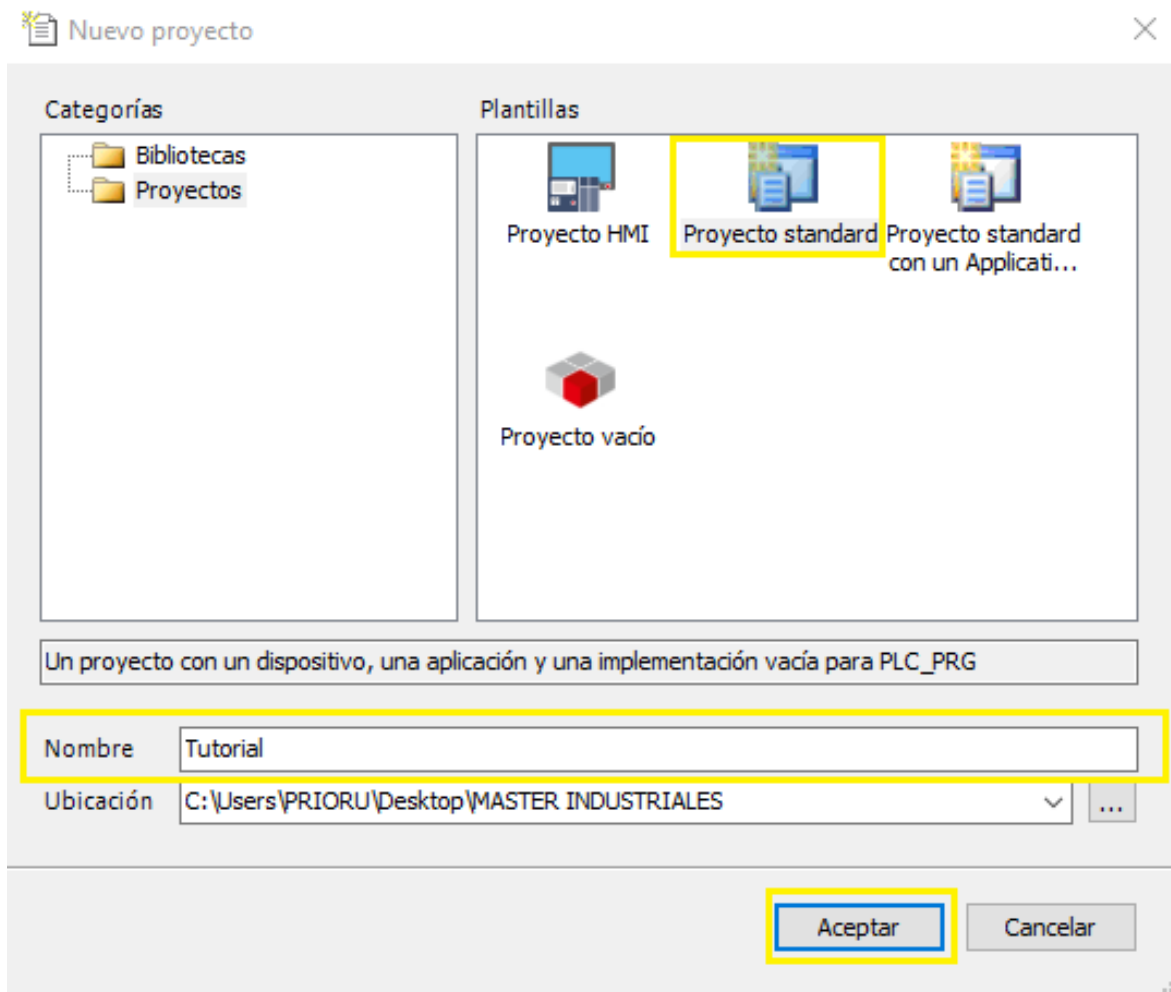


Figura 2-18: Creación de un nuevo proyecto en CODESYS.

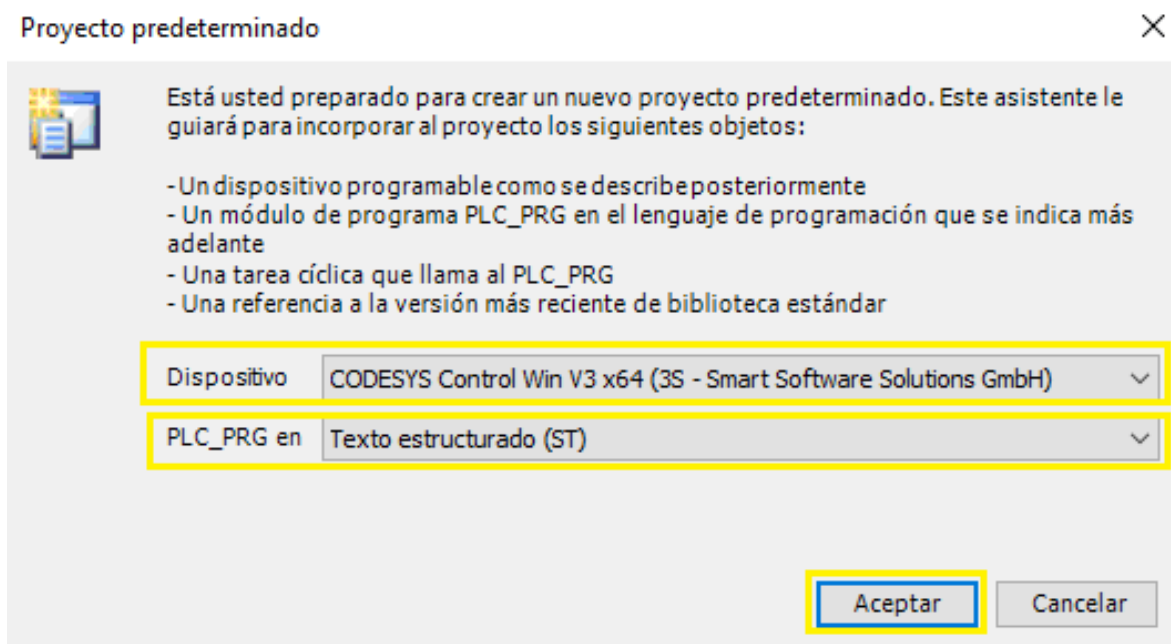


Figura 2-19: Pantalla de inicialización del proyecto estándar (CODESYS)

- 4) El siguiente paso será crear la lista de variables globales, lista de variables que finalmente se le pasarán a la planta virtual creada en FACTORY I/O. Para ello, se hará clic derecho en “Aplicación”, se seleccionará “Agregar objeto” y seguidamente lista de variables globales. Se le asignará un nombre a dicha lista y se hará clic en “Agregar”. En la *Figura 2-20* puede verse el proceso seguido.

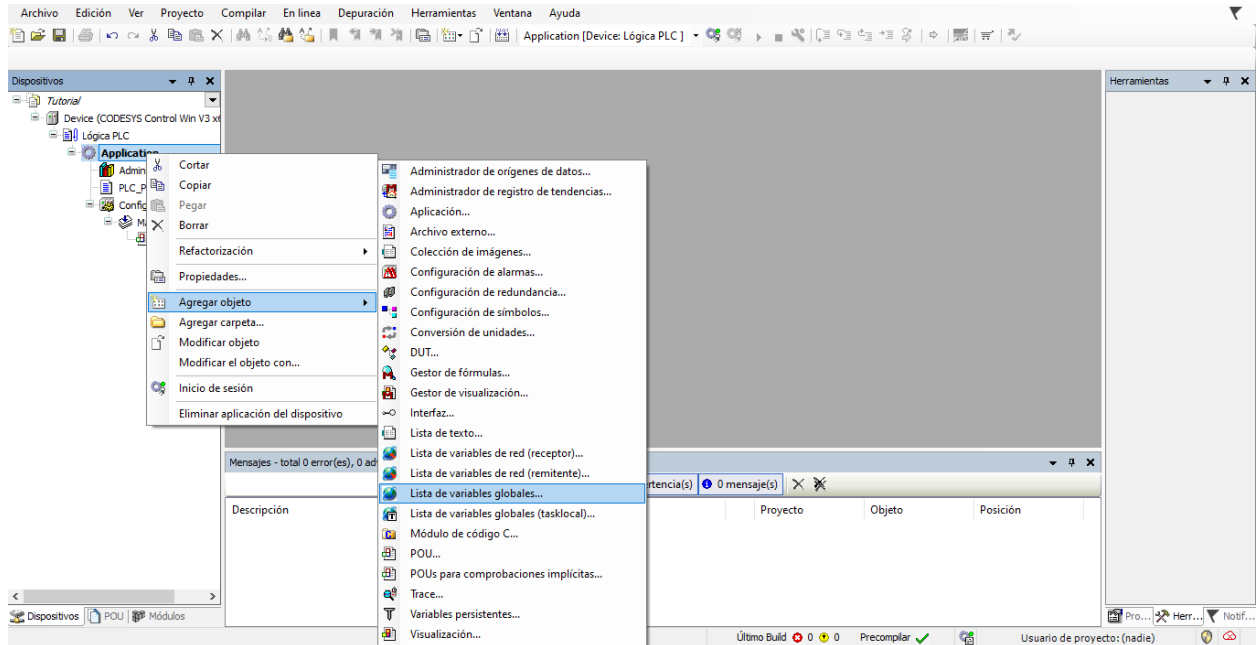


Figura 2-20: Creación de lista de variables globales (CODESYS).

- 5) Una vez creada la lista de variables globales, se abrirá haciendo doble clic izquierdo en ella. En ese espacio se escribirán todas las variables globales que se necesiten facilitar a FACTORY I/O, de este modo se producirá el intercambio de datos entre FACTORY I/O y CODESYS a través de OPC UA. Como bien se ha comentado antes, se utilizará el ejemplo expuesto en la documentación proporcionada por FACTORY I/O siendo las variables globales las que se muestran en la *Figura 2-21*.

```

VAR_GLOBAL
iAtEntry      : BOOL;
iLowBox       : BOOL;
iHighBox      : BOOL;
iAtTurnEntry  : BOOL;
iAtLoadPos    : BOOL;
iAtUnloadPos  : BOOL;
iAtFront      : BOOL;
iAtRightEntry : BOOL;
iAtLeftEntry  : BOOL;
iAtRightExit  : BOOL;
iAtLeftExit   : BOOL;

oFeederConveyor : BOOL;
oEntryConveyor  : BOOL;
oLoad           : BOOL;
oUnload        : BOOL;
oTurn          : BOOL;
oLeftConveyor  : BOOL;
oRightConveyor : BOOL;

END_VAR
  
```

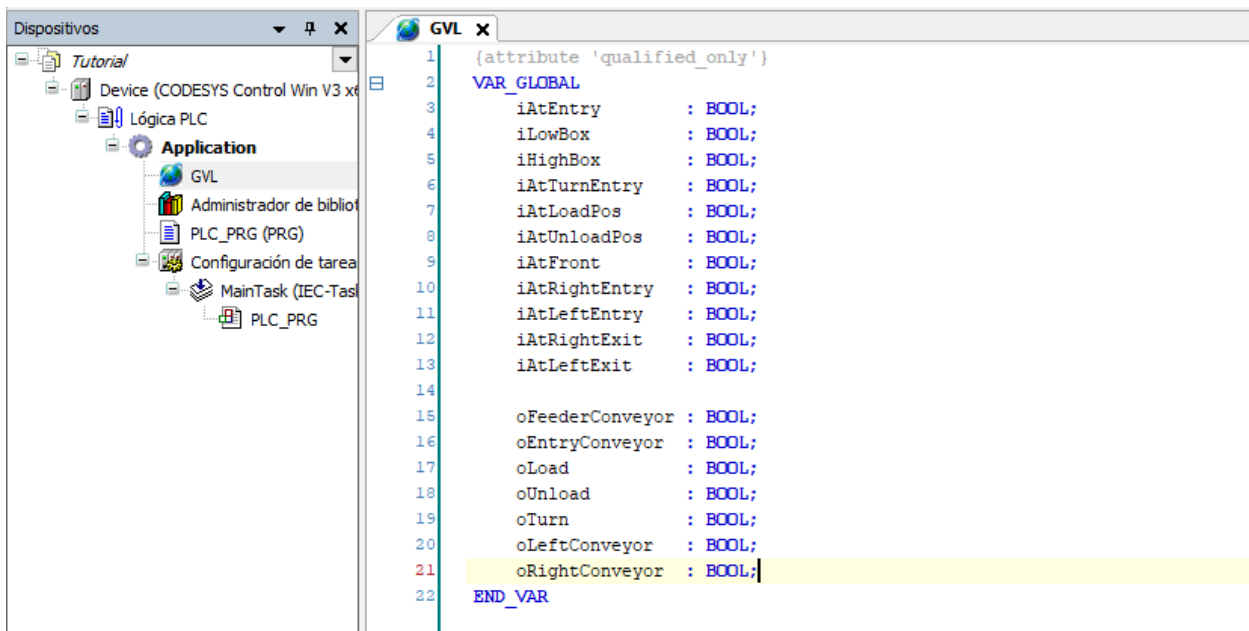


Figura 2-21: Lista de variables globales del ejemplo tutorial.

- 6) Además de las variables globales, para controlar la escena se requieren una serie de variables auxiliares y flancos que se pegarán en el apartado de variables del programa principal. Haciendo doble clic izquierdo en PLC_PRG (PRG) dentro del árbol de dispositivos, se copiarán y pegarán las variables que se observan en la *Figura 2-22*.

```

PROGRAM PLC_PRG
VAR
  F_AtEntry       : F_TRIG;
  F_AtTurnEntry   : F_TRIG;
  F_AtRightEntry  : F_TRIG;
  F_AtLeftEntry   : F_TRIG;
  F_AtRightExit   : F_TRIG;
  F_AtLeftExit    : F_TRIG;

  Pallet_on_left  : BOOL := FALSE;
  Pallet_on_right : BOOL := FALSE;
  Idle            : BOOL := TRUE;
  Charging        : BOOL := FALSE;
  Turns_charged   : BOOL := FALSE;
  Discharging     : BOOL := FALSE;
  Turns_Discharged : BOOL := FALSE;
  Turntable_busy  : BOOL := FALSE;
  Discharge_direction : BOOL := FALSE;
  Entry_busy      : BOOL := FALSE;
  Pallet_on_entry : BOOL := FALSE;
  Count           : WORD := 16#8000;

END_VAR

```

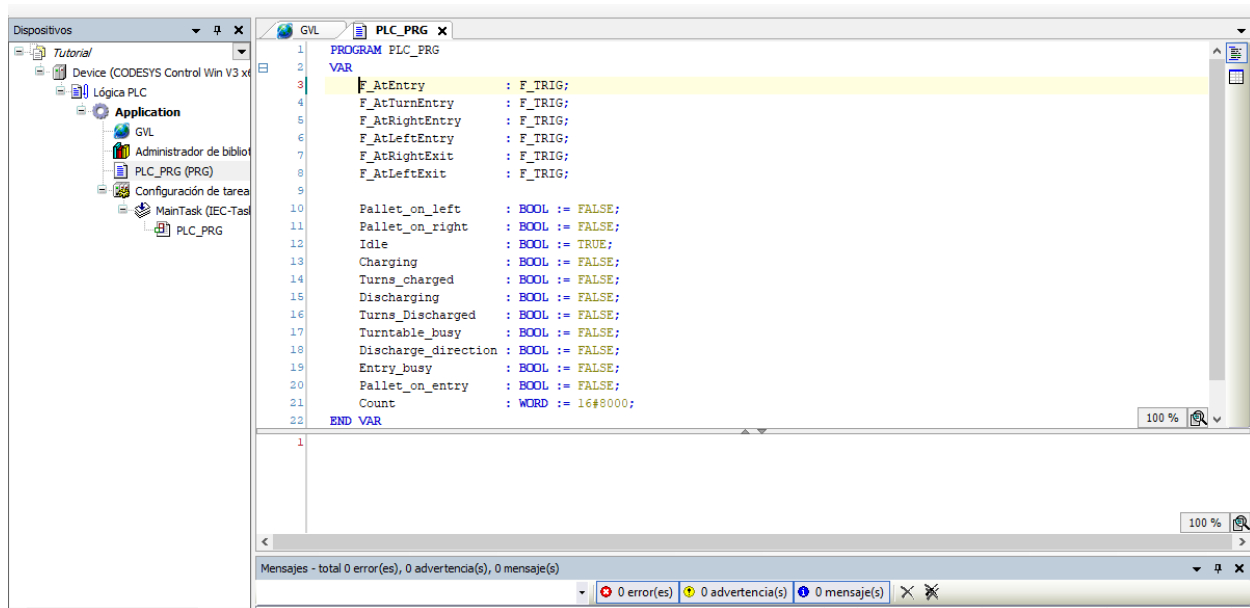


Figura 2-22: Lista de variables locales del ejemplo tutorial.

- 7) Con todas las variables definidas, ya se puede copiar y pegar el código facilitado por FACTORY I/O de forma que se consiga controlar la escena de “Clasificación por altura (avanzada)”. Una parte del código es el que se observa en la *Figura 2-23*.

```

F_AtEntry(CLK := FIO.iAtEntry);
F_AtTurnEntry(CLK := FIO.iAtTurnEntry);
F_AtRightEntry(CLK := FIO.iAtRightEntry);
F_AtLeftEntry(CLK := FIO.iAtLeftEntry);      (* A pallet abandons the turntable,
being charged onto the left exit conveyer *)
F_AtRightExit(CLK := FIO.iAtRightExit);
F_AtLeftExit(CLK := FIO.iAtLeftExit);      (* A pallet abandons the left exit
conveyer *)

(**** LEFT EXIT CONVEYER CONTROL ****)
(* Pallet_on_left represents the state of the left exit conveyer: if it carries
a pallet, then Pallet_on_left = TRUE *)

IF F_AtLeftExit.Q THEN                      (* When a pallet abandons the
conveyer *)
    Pallet_on_left := FALSE;                (* Reset Pallet_on_left *)
END_IF;

IF FIO.iAtLeftEntry THEN                    (* When there's a pallet at the
entry of the conveyer *)
    Pallet_on_left := TRUE;                 (* Set Pallet_on_left *)
END_IF;

FIO.oLeftConveyor := Pallet_on_left;        (* Left exit conveyer runs for
Pallet_on_left = TRUE *)

(**** RIGHT EXIT CONVEYER CONTROL ****)

IF F_AtRightExit.Q THEN
    Pallet_on_right := FALSE;
END_IF;

IF FIO.iAtRightEntry THEN
    Pallet_on_right := TRUE;
END_IF;

```

```

FIO.oRightConveyor := Pallet_on_right;

(**** TURNTABLE CONTROL ****)

IF Idle AND FIO.iAtTurnEntry THEN
  Idle := FALSE;
  Charging := TRUE;
END_IF;

IF Charging AND FIO.iAtFront THEN
  Charging := FALSE;
  Turns_charged := TRUE;
END_IF;

IF Turns_charged AND FIO.iAtUnloadPos THEN
  Turns_charged := FALSE;
  Discharging := TRUE;
END_IF;

(* The turntable discharges now onto both conveyers. Thus: *)

IF Discharging AND (F_AtRightEntry.Q OR F_AtLeftEntry.Q) THEN
  Discharging := FALSE;
  Turns_Discharged := TRUE;
END_IF;

IF Turns_Discharged AND FIO.iAtLoadPos THEN
  Turns_Discharged := FALSE;
  Idle := TRUE;
END_IF;

IF F_AtTurnEntry.Q THEN
  Turntable_busy := TRUE;
END_IF;

IF Idle THEN
  Turntable_busy := FALSE;
END_IF;

(* Computing control outputs according to the current state of the turntable and
the direction of the discharge *)
FIO.oLoad := Charging OR Discharging AND Discharge_direction;

(* oUnload is TRUE if the discharge is onto the left conveyor *)
FIO.oUnload := Discharging AND NOT Discharge_direction;

(* oTurn is TRUE if the discharge is onto the right conveyor *)
FIO.oTurn := Turns_charged OR Discharging;

(**** ENTRY CONVEYER CONTROL ****)
IF F_AtEntry.Q THEN
  Count := ROL (Count, 1);
  IF (Count = WORD#16#2) THEN
    Entry_busy := TRUE;
  END_IF;
END_IF;

IF F_AtTurnEntry.Q THEN
  (** Defining the direction of the discharge: the direction of the discharge
changes every time a pallet is
discharged from the entry conveyor onto the turntable. If
Discharge_direction = FALSE, then the discharge is onto the right conveyor **)
  Discharge_direction := NOT Discharge_direction;

```

```

Entry_busy := FALSE;
Count := ROR(Count,1);

IF (Count = WORD#16#8000) THEN
    Pallet_on_entry := FALSE;
END_IF;
END_IF;

IF FIO.iAtEntry THEN
    Pallet_on_entry := TRUE;
END_IF;

FIO.oEntryConveyor := Pallet_on_entry AND (NOT Turntable_busy OR NOT
FIO.iAtTurnEntry);

(**** FEEDING CONVEYER CONTROL ****)
FIO.oFeederConveyor := NOT Entry_busy OR NOT FIO.iAtEntry;

```

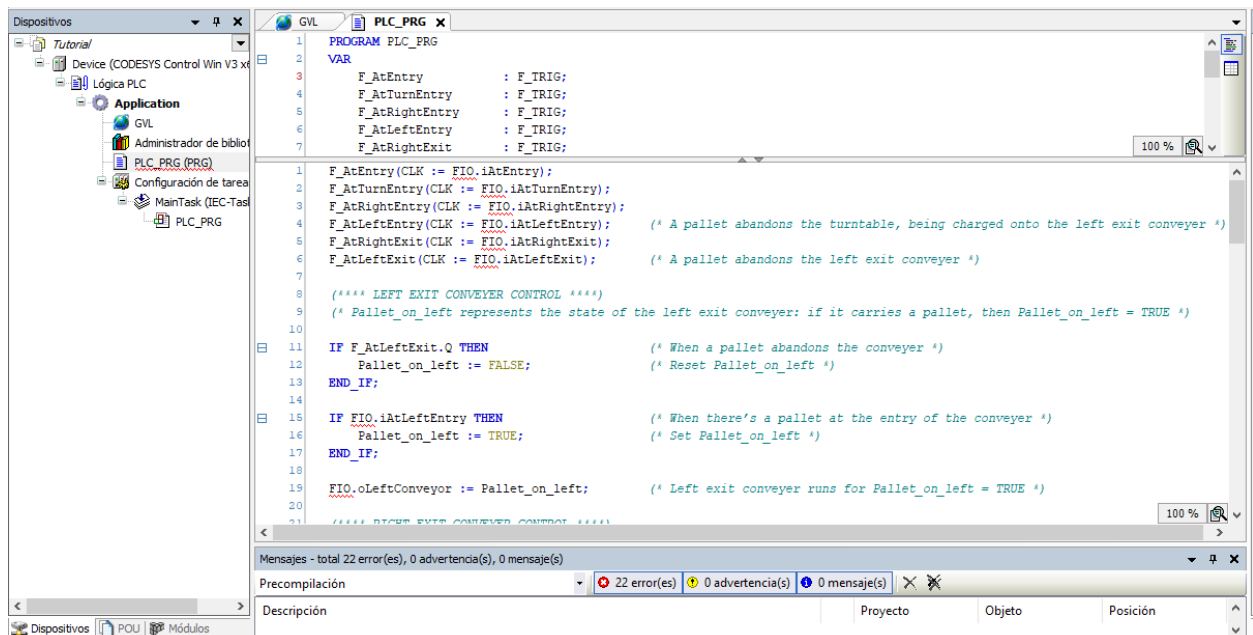


Figura 2-23: Desarrollo del código en PLC_PRG (PRG)

- 8) A partir de este momento, las acciones irán orientadas a transmitir los datos a FACTORY I/O. Como primer paso, se iniciará el PLC virtual, es decir, CODESYS Control Win V3 x64. Lo más recomendable es realizar la búsqueda con el buscador del escritorio y anclarlo al inicio. En la *Figura 2-24*, se muestra la pantalla que aparece una vez ejecutado.

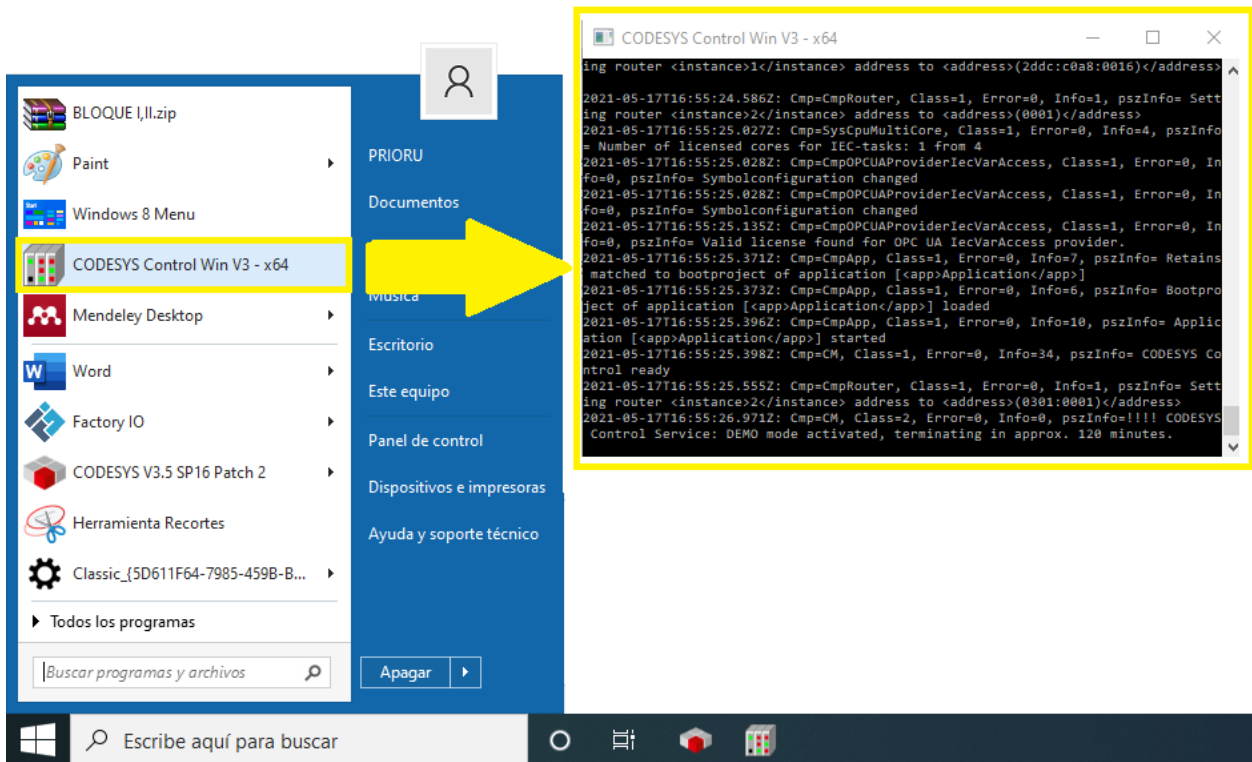


Figura 2-24: Apertura de CODESYS Control Win V3-x64

- 9) Se regresará a CODESYS y en el árbol del proyecto se hará doble clic izquierdo en “Device (CODESYS Control Win V3 x64)”. Después, en “Configuración”, se hará clic en “Examinar red...” y se seleccionará la ruta de red al controlador. Por último, se aceptará la selección. (véase Figura 2-25)

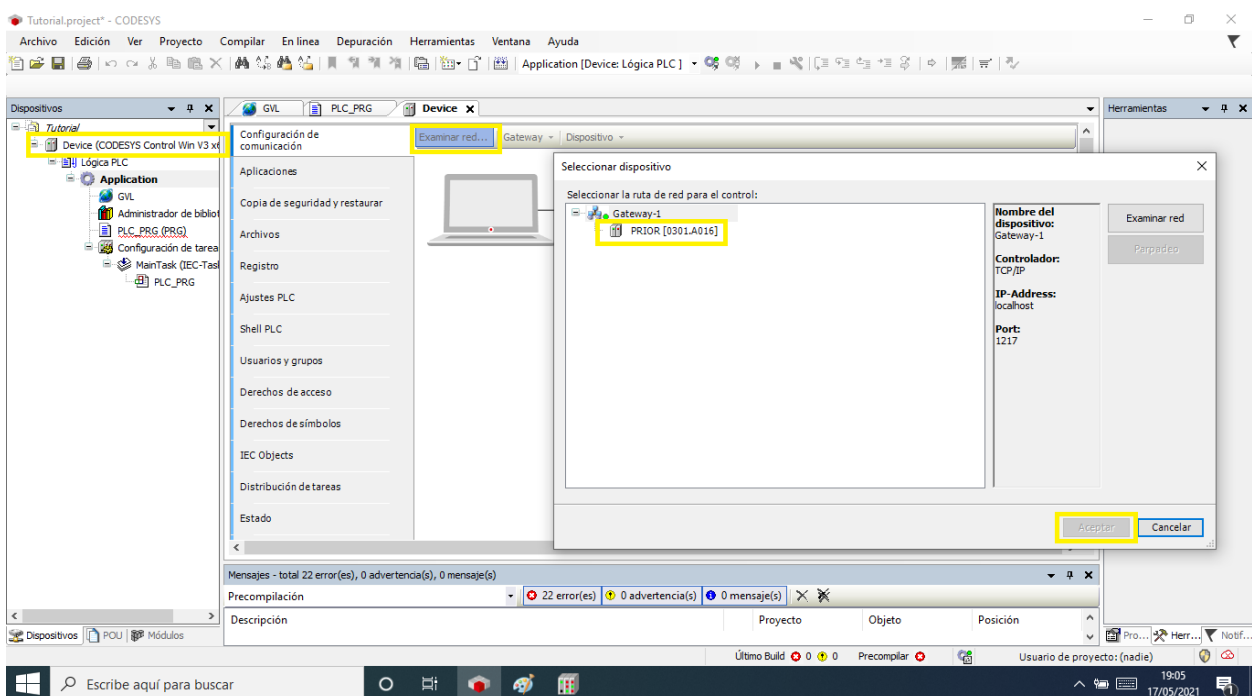


Figura 2-25: Conexión entre CODESYS y CODESYS Control Win V3-x64.

Cabe mencionar que el nombre del dispositivo también se puede modificar haciendo clic en “Dispositivo” y seguidamente “Cambiar nombre del dispositivo activo”.

- 10) En la barra de herramientas, se hará clic en “Compilar” y dentro de la lista desplegable en “Compilar” con el fin de descargar el programa a SoftPLC. Compilando el programa, se comprueba que efectivamente el código es correcto en cuanto a sintaxis de forma que el controlador pueda reconocerlo.
- 11) En este momento, se hace clic derecho en “Aplicación” y se selecciona “Agregar objeto” y “Configuración de símbolos”. En la ventana emergente, se marcará la opción “Compatible con características OPC UA” luego se hará clic en “Agregar”. Ahora, se verificarán los símbolos de la lista de variables globales y se hará clic en “Crear.” Una vez creada, se deberán tildar todas las casillas de aquellas variables que se quieren transmitir a FACTORY I/O (véase Figura 2-26)
- 12) Una vez realizado todos los pasos anteriores, se seleccionará “En línea” y acto seguido “Iniciar sesión”. El PLC solicitará la descarga del programa que deberá ser confirmada haciendo clic en “Sí”.
- 13) Por último, se hará clic en “Depuración” y en la lista desplegable en “Inicio”.

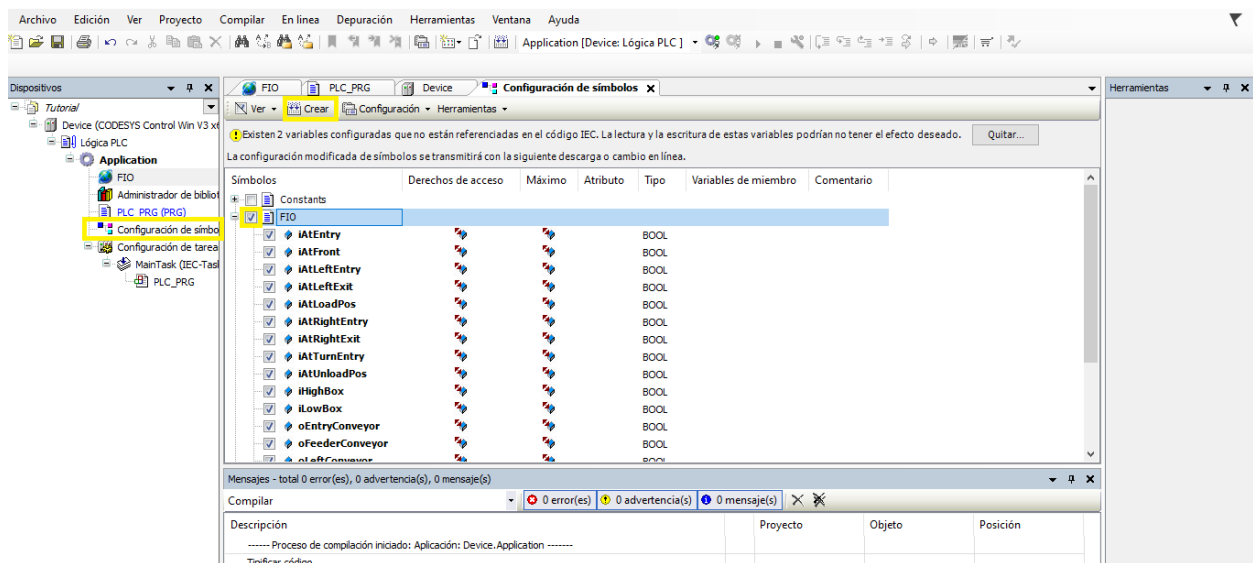


Figura 2-26: Creación de Configuración de Símbolos en CODESYS.

Habiendo finalizado las operaciones necesarias para configurar CODESYS, se continuará explicando la configuración que hay que realizar en FACTORY I/O.

2.4.2 Configuración de FACTORY I/O.

La configuración de FACTORY I/O requiere un número inferior de pasos a los que se han tenido que dar para configurar CODESYS. En este caso, la secuencia de operaciones son las que se detallan a continuación [3]:

- 1) En primer lugar, se abrirá la escena para la que se está explicando los pasos requeridos para establecer las comunicaciones entre ambos programas mediante el Servidor OPC UA. Por tanto, se abrirá la escena “Clasificación por altura (Avanzado)” siguiendo la metodología explicada en el apartado 2.1.1.2 de este documento. Una vez abierta la escena, se hará clic en

“Configuración del controlador” situado en la esquina inferior derecha de la pantalla. (véase Figura 2-27).

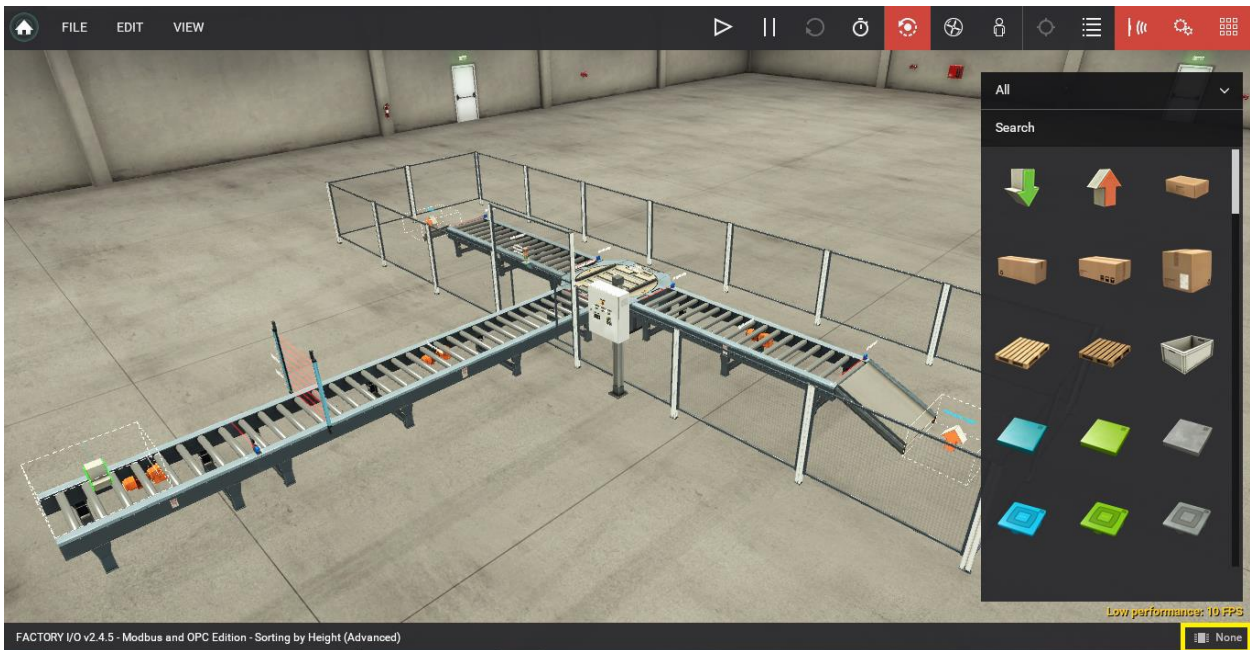


Figura 2-27: Botón de apertura del Configurador del controlador (FACTORY I/O)

- 2) Una vez abierta la pantalla de configuración del controlador, se elegirá la opción “OPC Client DA/UA” de la lista desplegable de posibles controladores, como se observa en la Figura 2-28, y seguidamente se hará clic en la pestaña de “Configuración”.

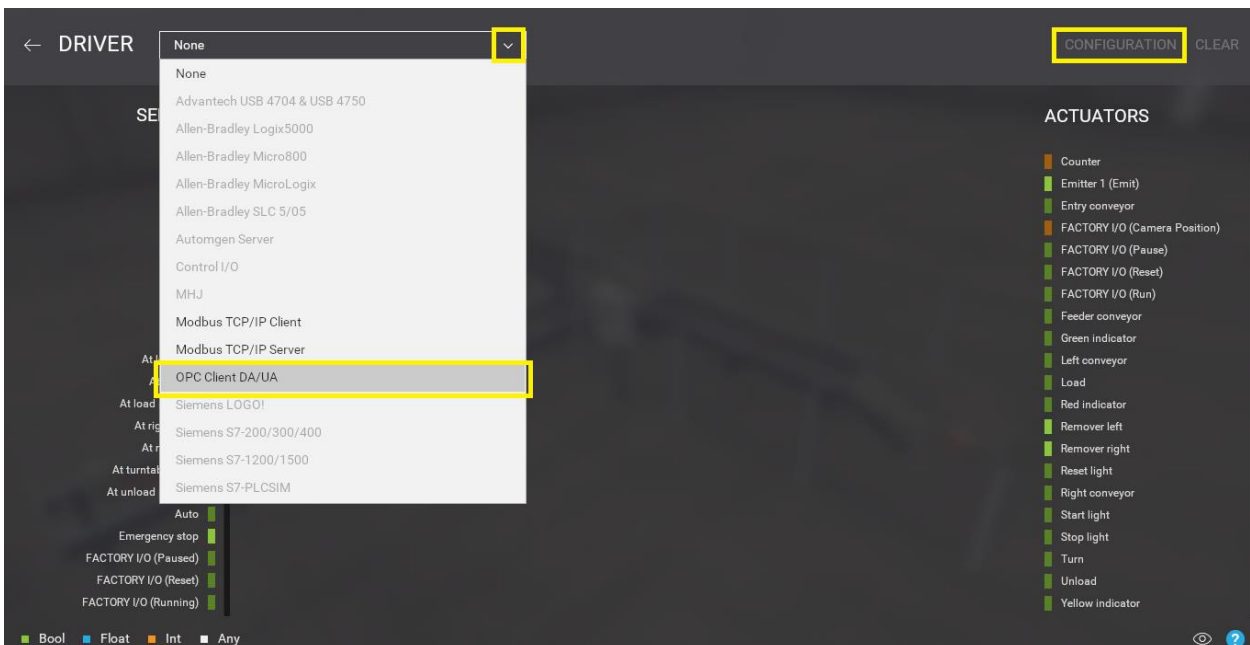


Figura 2-28: Selección del controlador. (FACTORY I/O).

- 3) A continuación, en la lista de servidores OPC, se seleccionará el OPC que aparezca como resultado de haber inicializado CODESYS Control Win V3 x64 (OPCUAServer@PRIOR

(UA)). Por otra parte, en el filtro de contenido se establecerá el nombre asignado a la lista de variables globales definida en CODESYS de forma que filtre los elementos de la lista. Por último, se hará clic en “BROWSE”. (véase *Figura 2-29*).

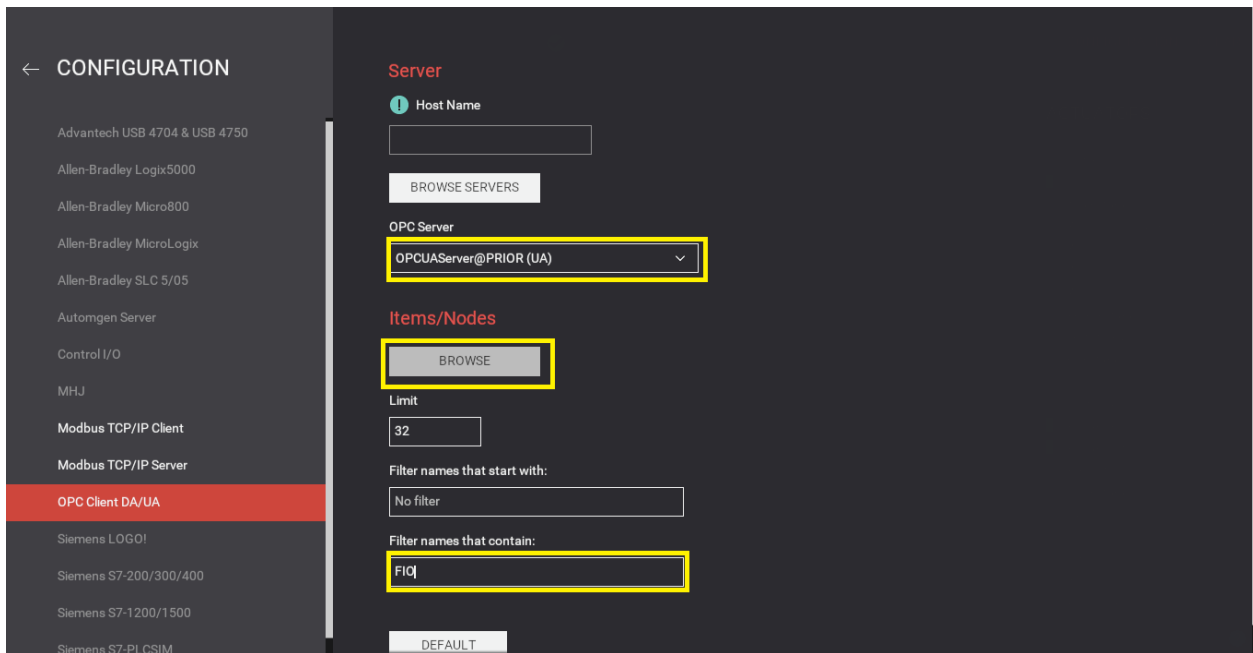


Figura 2-29: Configuración OPC UA (FACTORY I/O)

- Al realizar el filtrado, en la página anterior, aparecerán las variables globales empleadas en el código realizado en CODESYS. En este punto, se asignarán cada una de las etiquetas de sensores y actuadores a cada una de las variables dependiendo de si se trata de un sensor o un actuador. Para facilitar la comprensión del texto, se adjunta la *Figura 2-30*.

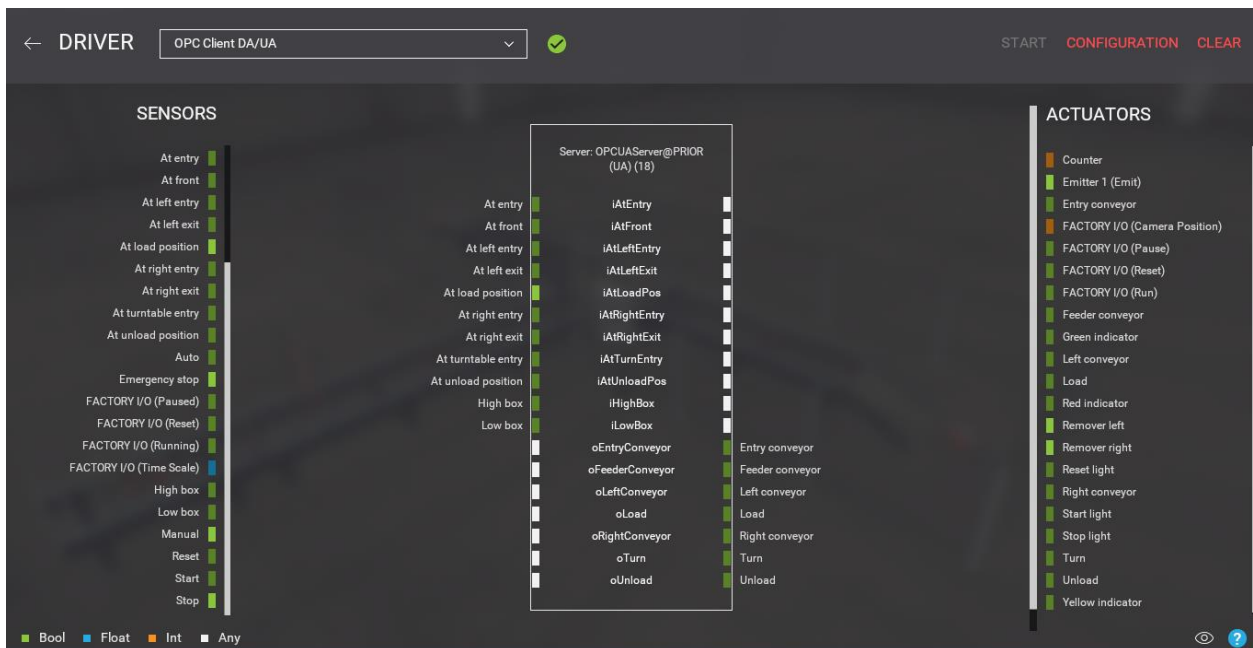


Figura 2-30: Asignación de sensores y actuadores a las variables globales de CODESYS (FACTORY I/O).

- Por último, se cerrará la ventana anterior y se iniciará la simulación con el botón “Play” o presionando F5.

2.5 Comunicación entre CODESYS y Citect SCADA a través del Servidor OPC.

En la sección anterior se ha explicado como realizar la comunicación entre CODESYS y FACTORY I/O. En esta sección se describirá como realizar la comunicación entre CODESYS y Citect SCADA para que, de esta forma, el SCADA pueda leer las variables del programa realizado en CODESYS y disponer de los valores de estas para poder realizar las funciones de alarmas, lecturas en tiempo real, animaciones, etc. que en el panel del SCADA se incluyan.

2.5.1 Configuración de CODESYS OPC UA.

La configuración de CODESYS para su posterior comunicación con el SCADA es exactamente la misma que la explicada en la sección 2.4.1 de este documento, por tanto, si se realizó previamente para comunicar CODESYS con FACTORY I/O, no será necesario repetir todos los pasos, sólo serán necesarios los pasos para poner en línea el programa de CODESYS.

2.5.2 Configuración de Citect SCADA 2018 R2.

Para explicar como realizar la configuración de Citect SCADA 2018 R2, se utilizará el programa de CODESYS para la escena “Clasificación por altura (Avanzado)” puesto que es esta la escena que se ha utilizado como ejemplo para realizar las distintas configuraciones de los programas empleados. El hecho de hacer referencia a la escena servirá para ver si efectivamente el SCADA es capaz de leer las variables del programa que controla dicha escena. Los pasos a seguir son los siguientes [10]:

- 1) Se abrirá el programa mediante el acceso directo de “Citect Studio”. En la parte izquierda de la ventana aparece una barra vertical con diferentes funciones. Se pinchará en la opción llamada “Proyectos” y se creará un nuevo proyecto haciendo clic en “Agregar” y acto seguido en “Proyecto nuevo” que para el caso que se aborda se llamará “Clasificación por altura”. En la *Figura 2-31* se muestra gráficamente el paso comentado.

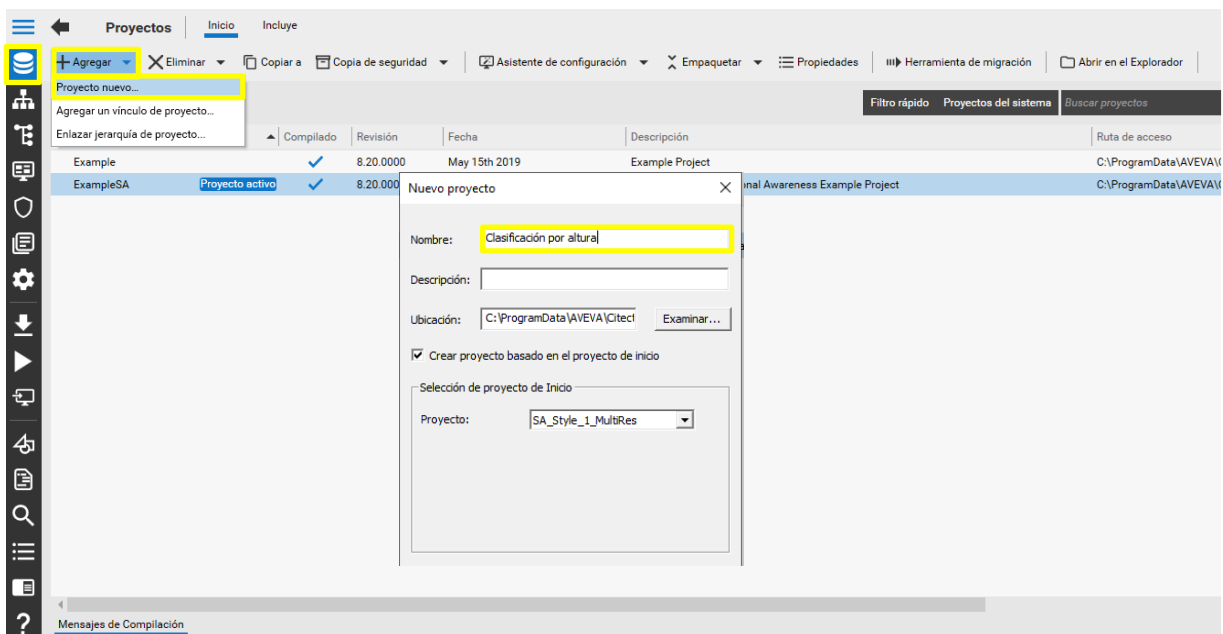
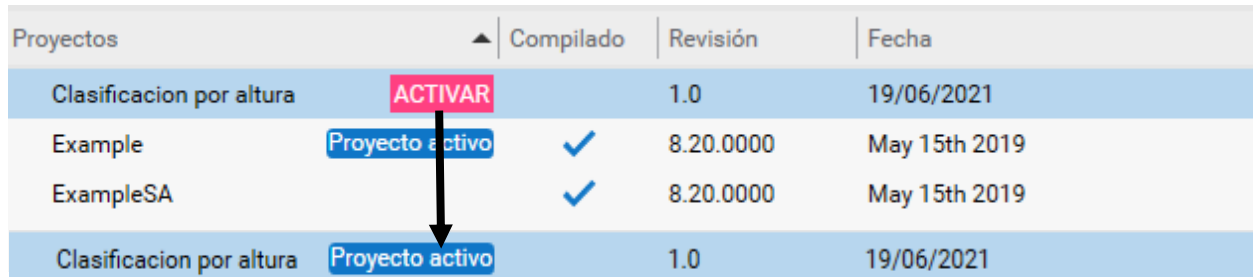


Figura 2-31: Creación de un nuevo proyecto en Citect SCADA.

- 2) Una vez creado el proyecto se debe activar éste. Si pulsamos encima del nombre del proyecto

dentro de la lista de proyectos aparecerá la opción “Activar” en color rosa. Haciendo clic en dicha opción el proyecto se activará apareciendo al lado del nombre del proyecto “Proyecto activo” en color azul. En la *Figura 2-32* se aprecia como queda el listado de proyectos una vez se ha activado el proyecto deseado.



Proyectos	Compilado	Revisión	Fecha
Clasificación por altura	ACTIVAR	1.0	19/06/2021
Example	Proyecto activo	8.20.0000	May 15th 2019
ExampleSA	Proyecto activo	8.20.0000	May 15th 2019
Clasificación por altura	Proyecto activo	1.0	19/06/2021

Figura 2-32: Activación del proyecto creado en Citect Scada.

- 3) En estos instantes en los que el proyecto se encuentra activo, se debe añadir un nuevo dispositivo en el que se configure la comunicación OPC-UA. En el panel de la izquierda se seleccionará la opción de “Topología” (justo debajo de la de “Proyectos”). Dentro de topología se pulsará la opción “Dispositivos de E/S” y acto seguido en “Dispositivo nuevo”. De esta forma se creará un nuevo dispositivo que permita la configuración de las comunicaciones entre CODESYS y Citect SCADA. En la *Figura 2-33* se recogen los pasos comentados en este punto concreto.

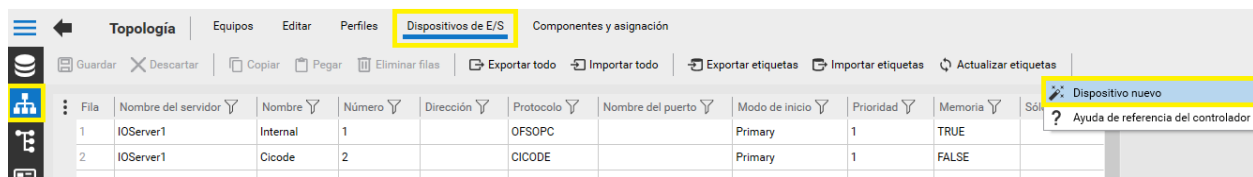


Figura 2-33: Creación de un dispositivo nuevo en Citect SCADA.

- 4) En este preciso instante aparecerá el asistente de comunicaciones del dispositivo el cual irá pasando por diferentes pantallas. La primera pantalla que aparece simplemente hace referencia al proyecto en el que se quiere crear el nuevo dispositivo. Aparecerá por defecto el nombre del proyecto que se encuentre activo por tanto simplemente habrá que pasar a la siguiente pantalla mediante la opción “Siguiente”. En la siguiente pantalla se elegirá el servidor, que por defecto será el que ofrece el programa, por tanto, se volverá a seleccionar la opción “Siguiente” para avanzar de pantalla. En la pantalla siguiente se procederá a la creación del dispositivo, el cual se nombrará como “OPCUA” como se aprecia en la *Figura 2-34*.

En la siguiente pantalla del asistente se debe elegir el tipo de dispositivo de E/S, eligiendo el que viene por defecto (Dispositivo de E/S externo) y pasando a la siguiente pantalla.

A continuación, se seleccionará el método de comunicación, que como se ha venido comentando es la comunicación OPC UA. En el caso del software se irán desplegando ramas hasta finalmente llegar a OPCTCP. En la *Figura 2-35* se muestra la selección del método de comunicación.

Una vez se haya seleccionado el método de comunicación se pasará a la siguiente pantalla o panel haciendo clic en “Siguiente”.



Figura 2-34: Creación y nombramiento del nuevo dispositivo (Citect SCADA)

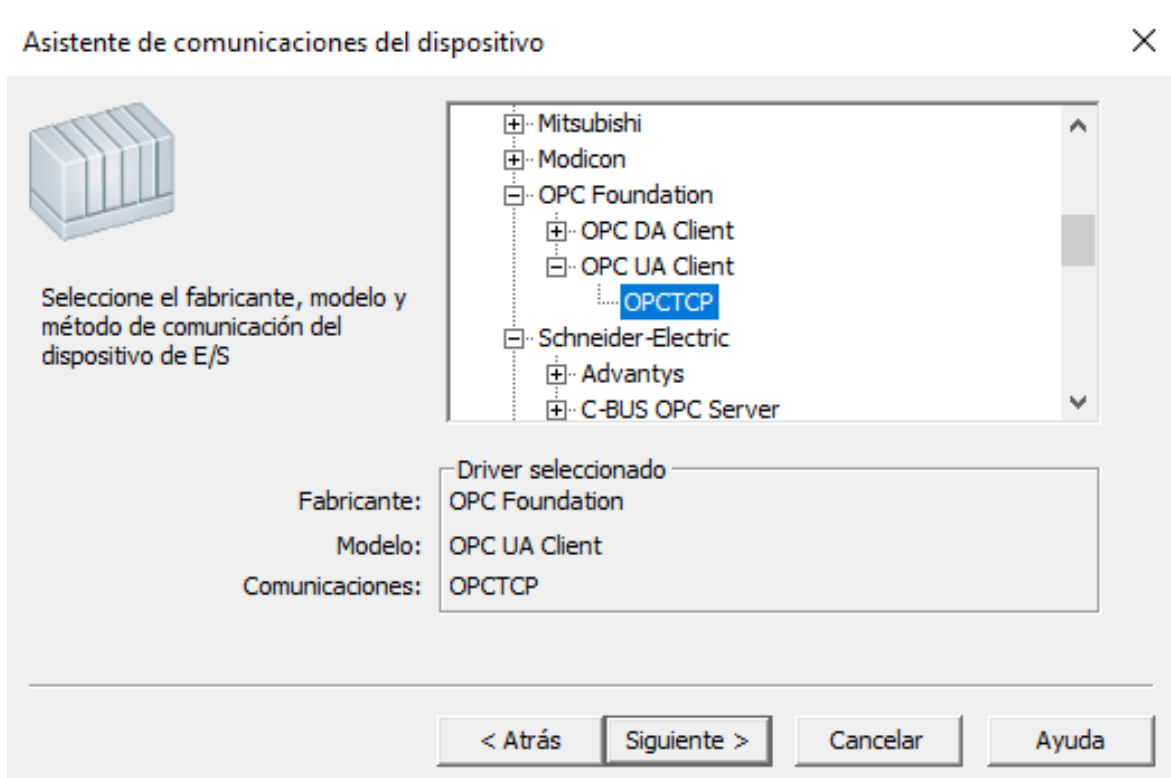


Figura 2-35: Método de comunicación del dispositivo.

En el siguiente panel se deberá introducir la dirección del servidor OPC para que de esta forma se pueda realizar la comunicación correctamente. La dirección se basa en la siguiente estructura:

opc.tcp:// “Nombre del servidor OPC” (el nombre del servidor OPC se puede obtener de la pantalla de dispositivo de CODESYS)

En la *Figura 2-36* se muestra la configuración de la dirección del dispositivo propia de los equipos utilizados para la realización de este trabajo.

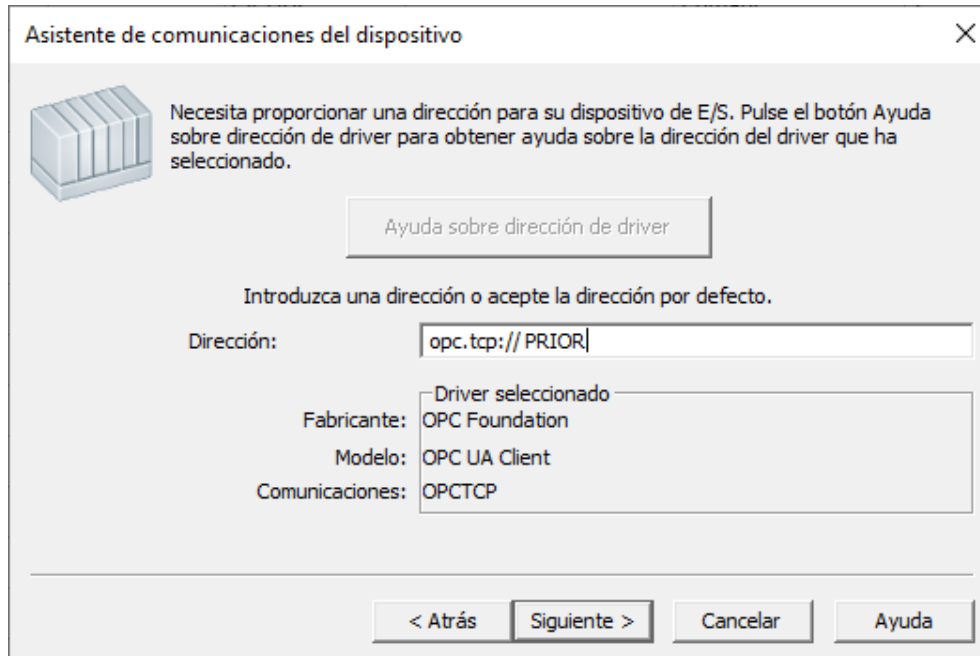


Figura 2-36: Dirección del servidor OPC.

En el siguiente panel se marcará la opción de “Vincular dispositivos E/S con base de datos de etiquetas externas”. En “Tipo de base de datos” se buscará en la lista desplegable OPCUA que es el dispositivo que se creó y acto seguido se hará clic en “Examinar” (véase *Figura 2-37*)

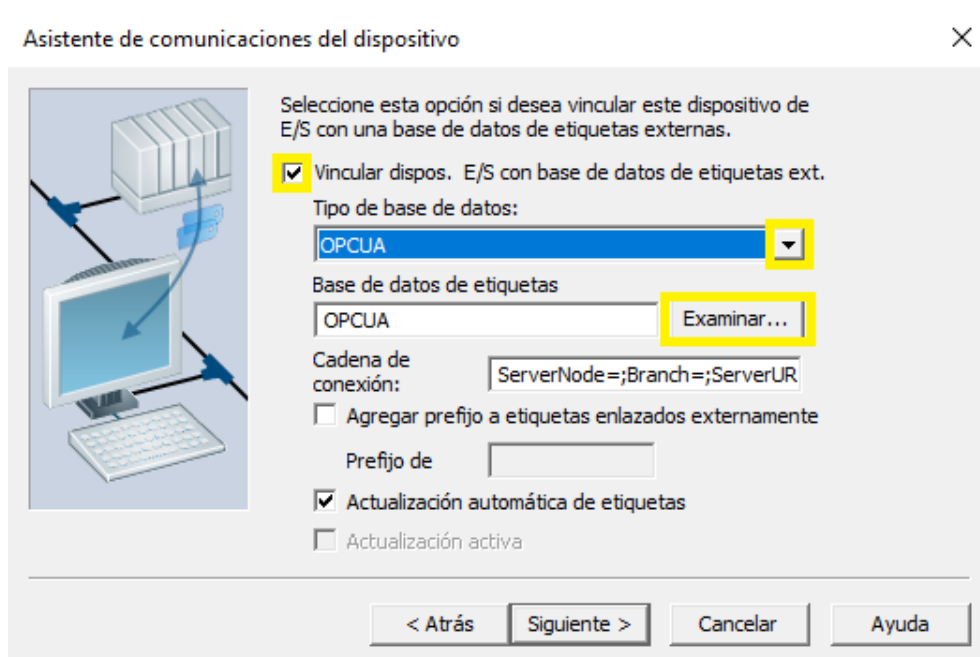


Figura 2-37: Vinculación del dispositivo E/S.

Al hacer clic en “Examinar” aparecerá una estructura tipo árbol que habrá que ir desplegando hasta encontrar la lista de variables globales de CODESYS, para que de esta forma Citect SCADA pueda leer dichas variables. (véase Figura 2-38)

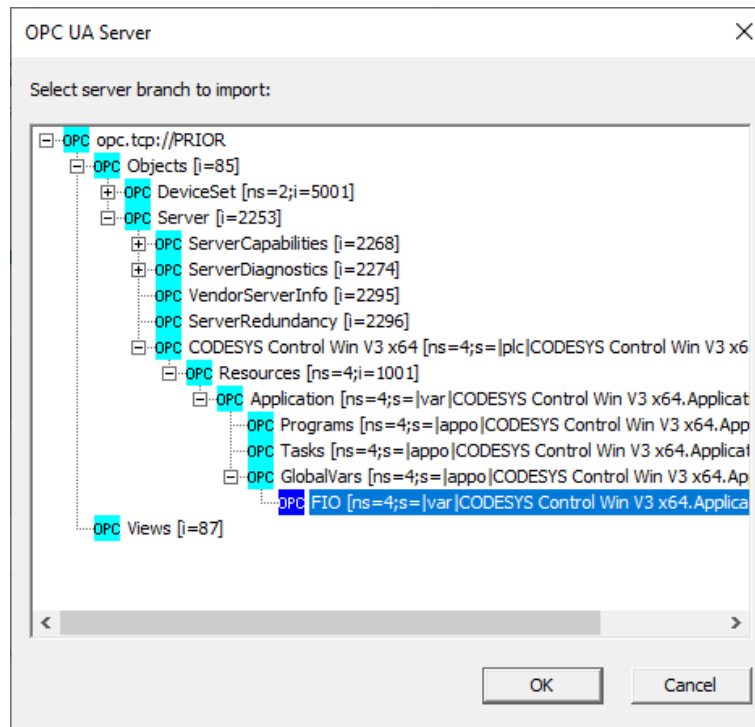


Figura 2-38: Selección de las variables que se comunicarán.

Una vez se esté en la situación de la figura anterior, se pulsará “OK” acto seguido “Siguiente” y por último en el panel que aparece “Finalizar”. De esta forma se producirá la transferencia de las variables al software apareciendo al final el número de variables que se han transferido. Para asegurar que se han cargado correctamente las variables, en el panel de la izquierda se seleccionará “Modelo del sistema” y en siguiente lugar “Variables” donde deben aparecer todas las variables que se han cargado como se observa en la Figura 2-39.

Fila	Equipo	Nombre del ítem	Nombre de etiqueta	Nombre del cluster	Dispositivo de E/S
1			FIO\AtEntry		OPCUA
2			FIO\AtFront		OPCUA
3			FIO\AtLeftEntry		OPCUA
4			FIO\AtLeftExit		OPCUA
5			FIO\AtLoadPos		OPCUA
6			FIO\AtRightEntry		OPCUA
7			FIO\AtRightExit		OPCUA
8			FIO\AtTurnEntry		OPCUA
9			FIO\AtUnloadPos		OPCUA
10			FIO\HighBox		OPCUA
11			FIO\LowBox		OPCUA
12			FIO\oEntryConveyor		OPCUA
13			FIO\oFeederConveyor		OPCUA
14			FIO\oLeftConveyor		OPCUA
15			FIO\oLoad		OPCUA
16			FIO\oRightConveyor		OPCUA
17			FIO\oTurn		OPCUA
18			FIO\oUnload		OPCUA

Figura 2-39: Variables cargadas en Citect SCADA.

Se comprueba como las variables cargadas coinciden con las variables del programa de la escena “Clasificación por altura (Avanzado)”

En este momento ya se encuentra incorporado a Citect SCADA un nuevo dispositivo virtual que se encargará de realizar la comunicación OPC-UA.

- 5) Como siguiente paso habrá que realizar las operaciones pertinentes en el configurador del programa. Se buscará el Configurador de Citect SCADA en el PC a través del explorador. Una vez que se ha localizado, se ejecutará como administrador para poder realizar los cambios oportunos.

Con el configurador abierto, se seleccionará la opción “OPC UA Client Driver” de entre las opciones que aparecen a la izquierda. Acto seguido se creará una nueva configuración en el caso de que no exista ninguna creada.

En la *Figura 2-40* se observan las opciones que se irán seleccionando dentro del Configurador del software.

Una vez realizados estos pasos, se hará clic en “Siguiente” para seguir con la configuración.

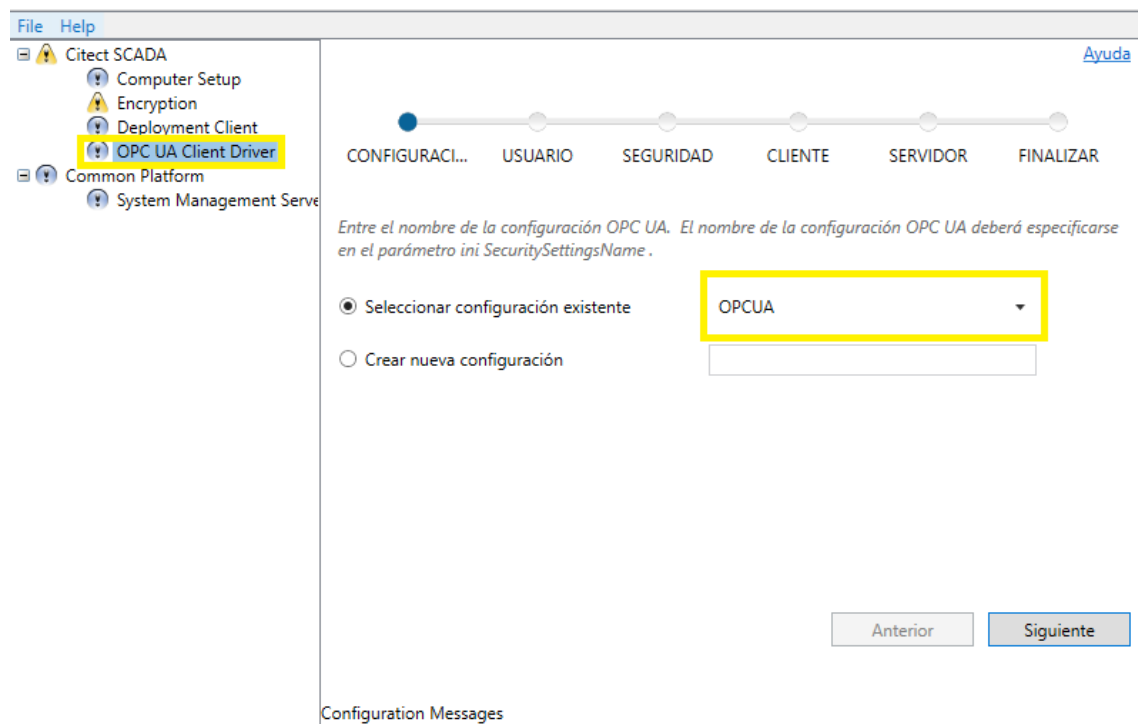


Figura 2-40: Configurador Citect SCADA (1).

Se pulsará la opción “Siguiente” hasta llegar al punto de “Finalizar”. En este punto se hará clic en “Configure” y después se comprobará la conexión con el OPC introduciendo de nuevo la dirección del OPC y haciendo clic en “Probar conexión”. (véase *Figura 2-41*)

Con esta última operación quedaría configurado la parte Cliente del software.

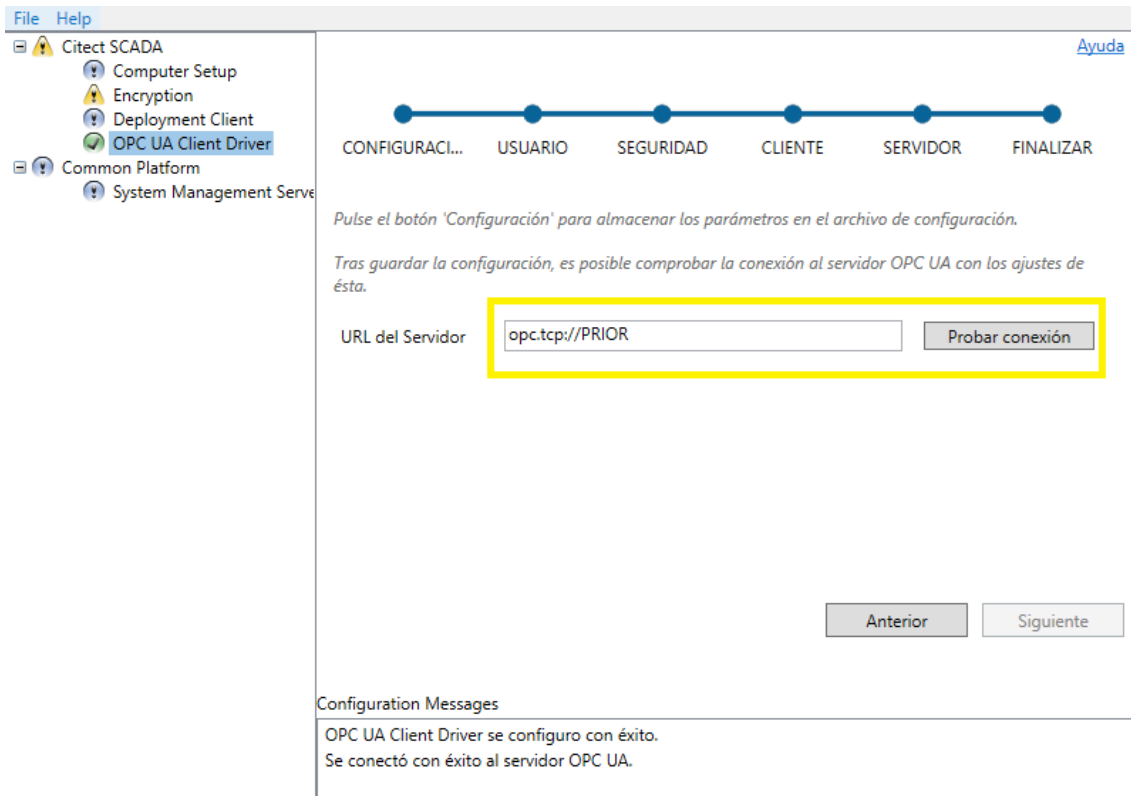


Figura 2-41: Configurador Citect SCADA (2).

- 6) Por último, se volverá a Citect SCADA. Una vez se haya realizado la pantalla de explotación en el editor de gráficos y como paso previo a la compilación y ejecución del proyecto, se ejecutará el asistente de configuración tal y como aparece en la *Figura 2-42*.

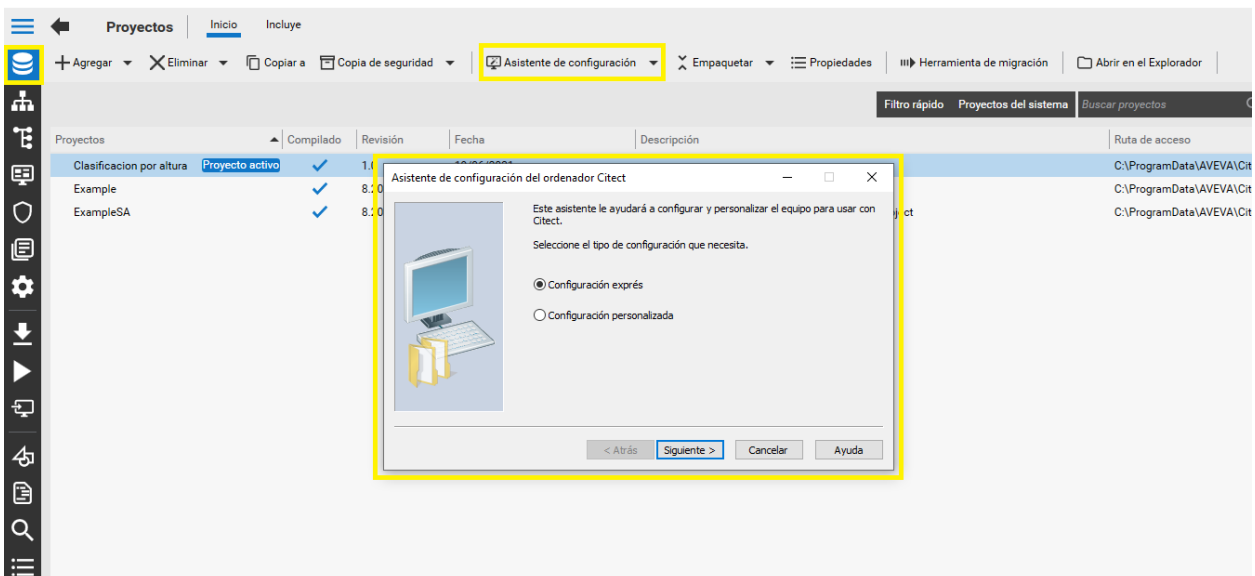


Figura 2-42: Asistente de configuración de Citect SCADA.

Se recomienda pasar por los distintos paneles con la configuración que aparece por defecto. Una vez finalizado el proceso, el proyecto se encuentra en disposición de ser compilado y ejecutado.

3 ESPECIFICACIONES DE LA PLANTA

En el capítulo que comienza, se realizará una descripción exhaustiva de las especificaciones de funcionamiento de la planta diseñada. En su diseño, se ha procurado realizar una planta lo suficientemente compleja, en la que sean necesarios los lenguajes más importantes de programación que ofrece CODESYS, así como el manejo de colas, señales luminosas, recursos compartidos o gestión de almacenes, conceptos vistos entre otros en la asignatura de “Automatización y Control de Sistemas Productivos” impartida en el primer curso del máster de ingeniería industrial. En la *Figura 3-1*, se muestra una visión general de la planta diseñada haciendo uso de los elementos y piezas que pone a disposición la paleta de FACTORY I/O.



Figura 3-1: Vista general de la planta.

En siguiente lugar, cabe destacar que la planta se fue programando por pequeños módulos, módulos cuya división fue realizada en base a operaciones como, por ejemplo, mecanizado, ensamblado, clasificación, paletización... etc. De igual modo, para explicar el funcionamiento de la planta, así como las restricciones y especificaciones planteadas, para facilitar la comprensión del lector, se optará por ir explicando cada uno de los módulos por separado hasta llegar al todo, es decir, la planta completa. En estas explicaciones se pondrá de relieve las relaciones existentes entre cada uno de los módulos en caso de que no fueran independientes entre ellos.

Los módulos o estaciones en las que se divide la planta son los siguientes:

- Estación de mecanizado: compuesta por dos centros de mecanizado, un sistema de visión y un sistema dispensador de materiales brutos para uno de los centros de mecanizado.
- Estación de ensamblaje: compuesta por una ensambladora de dos ejes, dos sistemas de amarre de las piezas cuando se encuentran situadas en la posición correcta y las cintas para el transporte de las piezas hasta la ensambladora.
- Estación de tratamientos químicos: en esta estación se dispone de un tanque en el que se mantendrá almacenado el producto químico utilizado, unas rejillas por las que verter el producto en la pieza, así como otros elementos que llegados a este punto se explicarán.

- Estación clasificadora de piezas terminadas: esta estación se compone de una ensambladora de dos ejes, y numerosas cintas que permiten la recepción y posterior clasificación de las piezas según los colores y materiales de estas. Al igual que en la estación de ensamblaje, se dispone de un sistema de amarre para fijar la pieza en la posición correcta y así poder ser manipulada por la ensambladora.
- Estación de embalaje: aunque FACTORY I/O no aporta ninguna solución al embalado automático, gracias a la posibilidad de escoger diferentes tamaños de cajas, se ha podido ofrecer una alternativa para el embalado de las piezas terminadas, como se verá cuando se llegue a la descripción detallada de este punto.
- Estación de paletizado: se compone de una paletizadora automática y las cintas y transportadores de rodillos necesarios para la entrada de cajas a una altura y la de palets a otra diferente.
- Estación o sistema de almacenaje: esta estación esta formada por dos almacenes tipo racks con capacidades de 54 palets cada uno. También se dispone de una mesa giratoria para la clasificación de estos según el material de las piezas que vayan almacenadas en las correspondientes cajas y los diferentes transportadores de rodillos para la entrada y salida de los palets.

Habiendo realizado esta breve introducción, se va a explicar en profundidad el funcionamiento de cada uno de los módulos o estaciones enumerados anteriormente.

3.1 Funcionamiento de la planta.

3.1.1 Estación de mecanizado.

El proceso llevado a cabo en la planta consiste en procesar una tipología de piezas concretas que pueden fabricarse tanto en plástico como en metal. Destaca también, la posibilidad de poder fabricar piezas plásticas en color azul y en color verde, dando así una variedad de tres modelos de piezas posibles: metálicas, plásticas azules y plásticas verdes.

El conjunto final, se compone de una pieza inferior a la que se denominará base y una pieza superior llamada tapa. Al ensamblar la tapa con la base se obtiene la pieza definitiva. Cabe mencionar que la morfología de las piezas finales es idéntica independientemente del material utilizado. En la *Figura 3-2* se observan los tres modelos de pieza según el material, así como sus componentes básicos.



Figura 3-2: Tipología y composición de piezas terminadas.

Con el proceso clave ya comentado, se pueden explicar las especificaciones de funcionamiento de la estación de mecanizado. Como se comentó en la sección anterior, la estación de mecanizado consta de dos centros de control numérico, esto se debe a que en cada uno de ellos se elaborará una de las partes que componen la pieza terminada. Las salidas de ambos centros de mecanizado se disponen de tal manera que el proceso de ensamblaje se realice de forma continua. En la *Figura 3-3*, se muestra la disposición de los centros de mecanizado, así como las cintas de salida encaminadas a la estación de ensamblaje.

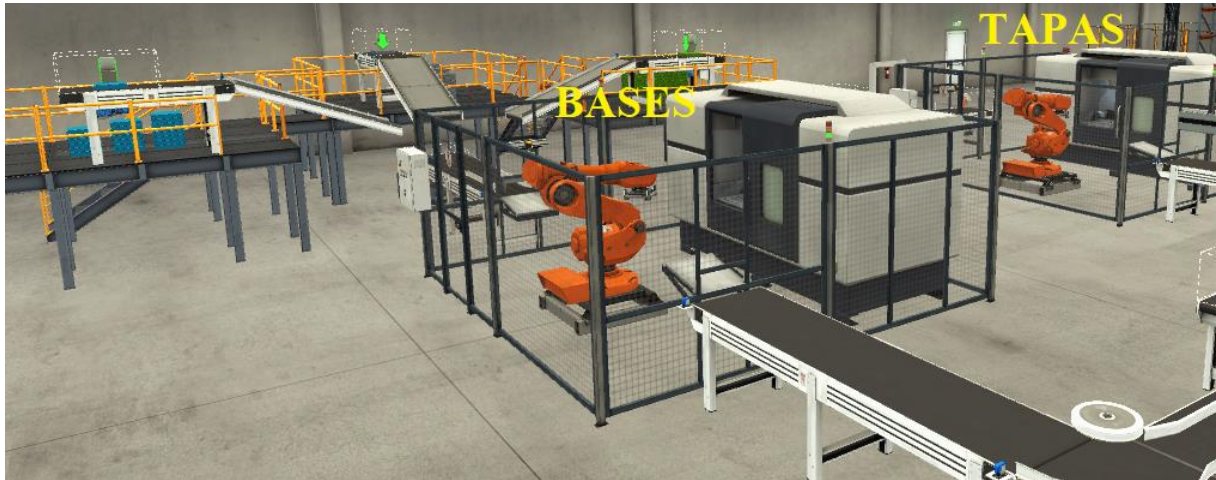


Figura 3-3: Centros de mecanizado de la planta.

Para hacer que tanto la tapa como la base que se vayan fabricando sean del mismo color y material, se debe detectar en una de las cintas de entrada el orden de los materiales crudos que van entrando a uno de los centros de mecanizado y que este orden se replique en la cinta de entrada al otro centro de mecanizado mediante un sistema dispensador de brutos. Para realizar esto, la cinta de entrada de materiales brutos al centro de mecanizado que procesa tapas será independiente y la del centro de mecanizado de bases enviará uno u otro material en función del orden que se vaya registrando. Se comenzará por explicar la entrada al centro que mecaniza tapas por ser esta independiente. En la *Figura 3-4* se puede ver con claridad la entrada al centro de mecanizado de tapas.

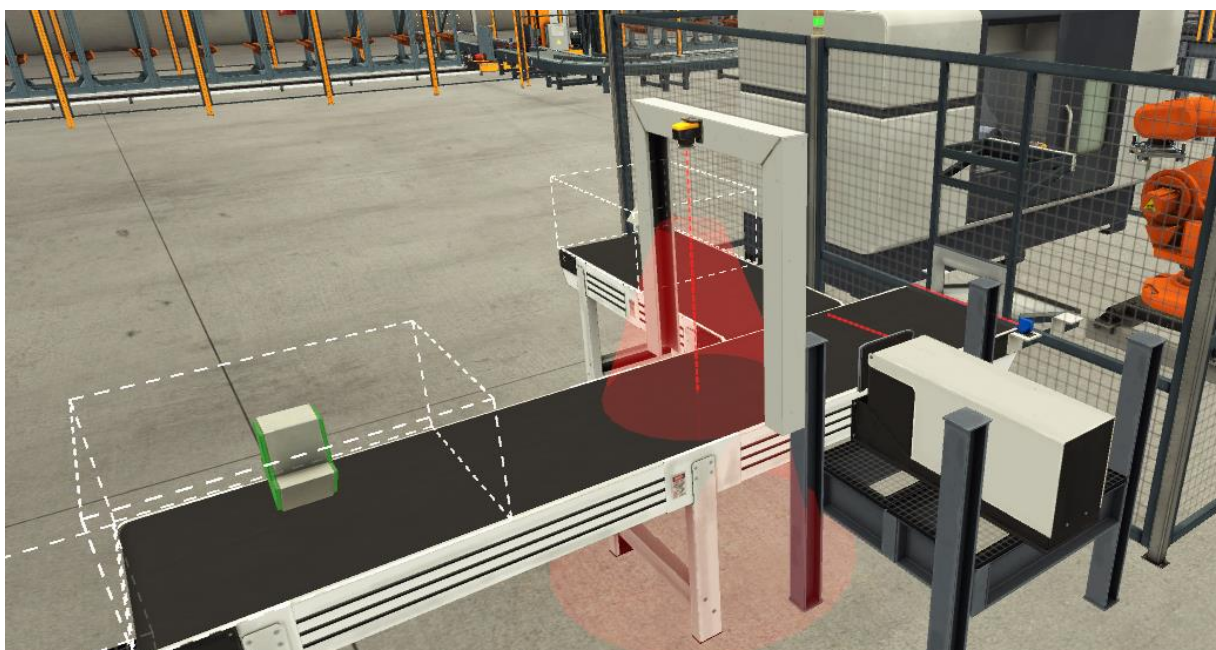


Figura 3-4: Cinta de entrada al centro de mecanizado de tapas.

Al iniciar el sistema, un emisor introducirá materia prima de forma aleatoria, es decir, el orden de entrada de tochos metálicos, de plástico azul o de plástico verde no se puede conocer. En la mitad de la cinta, se ha dispuesto un sensor de visión que permita conocer el orden de materiales que circula por la cinta y de esta forma mandar la señal a las cintas suministradoras de materia prima del otro centro de mecanizado.

La cinta permanecerá en funcionamiento mientras que el centro de mecanizado no esté ocupado, no entrando el siguiente tocho hasta que salga la tapa terminada que mantenía al centro ocupado. Por otra parte, aunque se encuentre ocupado, la cinta funcionará hasta que el siguiente tocho se quede justo en la apertura de entrada.

Además, en la figura anterior se observa un pistón y una segunda cinta más corta (2 metros) colocada perpendicularmente a la principal y enfrentada con el pistón. Este sistema actuará de sistema de rechazo, es decir, si con las piezas que ya se están procesando, se va a producir el llenado completo del almacén o parte de este que le corresponde a dicha pieza, el pistón la expulsará del sistema sin llegar esta a procesarse. De igual forma, tampoco se produciría el encolamiento en el vector que recuerda el orden de piezas que debe de ir suministrando las cintas orientadas a la producción de bases como se verá a continuación. En el caso, de que todos los almacenes se encuentren llenos, la cinta parará y no enviará más brutos hasta que se produzca alguna salida de los almacenes.

Dicho esto, se pasa a describir el sistema de suministro de materia prima para el centro de mecanizado que procesa las bases de la pieza terminada. En la *Figura 3-5*, se muestra en planta el sistema elaborado para tal fin.

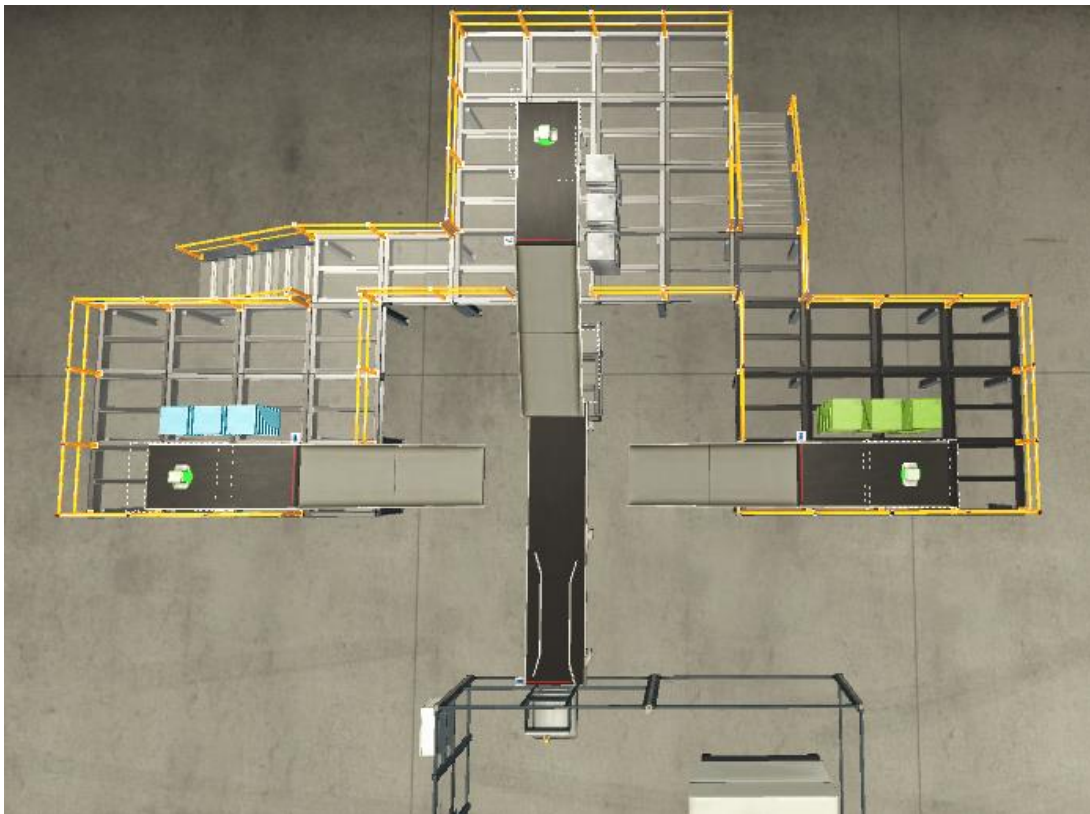


Figura 3-5: Vista en planta del sistema suministrador de piezas para CNC bases.

El sistema que se muestra en la figura anterior permanecerá inactivo hasta que el sensor de visión comentado anteriormente detecte una nueva materia prima en la cinta de entrada al centro de mecanizado de tapass, guardando esta información en un vector que servirá para controlar el suministro de materia prima para elaborar bases. En el momento en el que se detecte el color, se

activará la cinta individual que corresponda, teniendo en cuenta que sólo se activará si no está activa otra de las individuales o si en la cinta común de entrada al centro de mecanizado hay un número menor a dos tochos, con el fin de que no se amontonen unas encima de otras. Una vez el tocho correspondiente cae por su rampa, se desencola el vector, haciendo posible la coordinación de materiales entre las bases y las tapas.

Además del funcionamiento comentado, las cintas de entrada de ambos centros de mecanizado también pueden girar en sentido opuesto al de entrada. En el modo de funcionamiento normal de la planta, las cintas jamás girarán en este sentido. Este sentido de giro sólo se activará cuando la planta entre en inicialización, después de haberse producido una parada de emergencia.

Con el movimiento en el sentido opuesto a la entrada de los centros de mecanizado, se consigue eliminar de las cintas, los tochos existentes en ellas cuando se produjo la parada de emergencia.

Una vez explicada la entrada de materia prima a sendos centros de mecanizado, se describirá el funcionamiento de los propios centros. En primer lugar, el robot se mantiene parado a la espera de que entre materia prima en la bahía de entrada. Una vez se detecta un nuevo tocho, se carga en la máquina CNC y ésta comienza a mecanizar para producir la parte de la pieza terminada correspondiente. Una vez completada la operación, el robot coloca el artículo en la bahía de salida.

Los tiempos que se requieren para procesar tapas y bases son diferentes. En el caso de las tapas, el tiempo necesario para producirlas son 6 segundos mientras que para fabricar bases el tiempo se reduce a la mitad, es decir, 3 segundos.

Por último, en la parte superior de las vallas de protección existen dos tubos de luces que ofrecen información visual del estado del proceso. Si la luz es verde, significa que el centro de mecanizado se encuentra libre, a la espera de recibir materia prima. La luz ámbar indica que el centro de mecanizado se encuentra ocupado y, por último, si la luz es roja indica que se ha producido un error.

Para finalizar con el funcionamiento de la estación de mecanizado, se comentan, por último, las condiciones de las cintas de salida las cuales se muestran en la *Figura 3-6*.

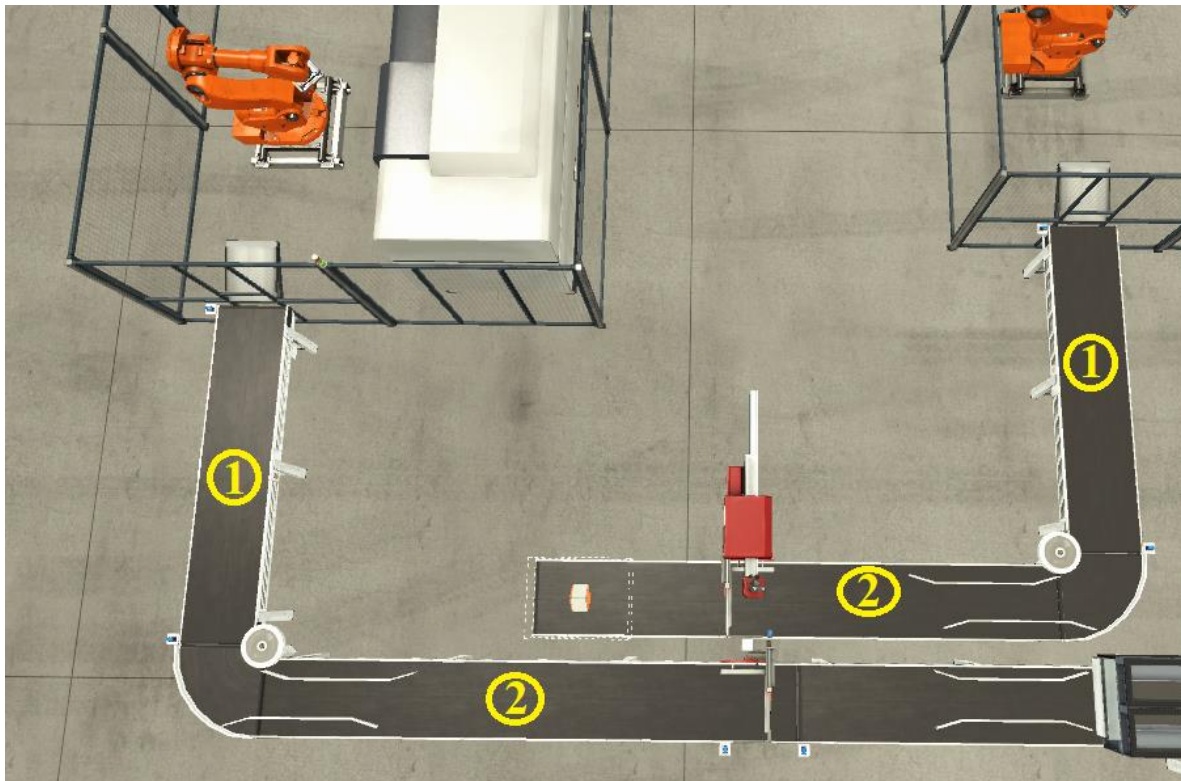


Figura 3-6: Vista en planta de las cintas de salida de los centros de mecanizado.

Debido a los tiempos que necesitan los centros de mecanizado para producir bases y tapas, se ha optado el siguiente funcionamiento en las cintas de salida, con el fin de observar fácilmente el efecto de programar colas.

Una vez se posiciona una base o tapa acabada en la bahía de salida del centro CNC correspondiente, se arrancará la cinta 1, observada en la figura anterior, durante 3 segundos. Este proceso se llevará a cabo hasta que existan 3 piezas en la cinta 1. Cuando hay 3 piezas en la cinta 1 arrancarán tanto la cinta 1 y 2 como la curva que las une hasta llegar a la ensambladora, siempre y cuando no exista ninguna pieza en la cinta 2. En caso de que hubiera piezas sin ensamblar en la cinta 2, la cinta 1 permanecería parada en espera de que se procesen las piezas que restan en la cinta 2, además de tener que parar el centro de mecanizado correspondiente.

Lo explicado se aplica tanto a las cintas de salida de bases como a las de tapas de ahí que en la figura anterior se haya usado la misma numeración.

Habiendo explicado todo esto, se va a pasar a explicar la siguiente estación o módulo de la planta, es decir, la estación de ensamblaje.

3.1.2 Estación de ensamblaje.

Una vez que se han procesado las materias primas en los centros CNC, produciendo tapas y bases, el siguiente paso es ensamblarlas para obtener la pieza final terminada. Para realizar esta labor, se ha colocado una ensambladora de dos ejes y barras de posicionamiento en sendas cintas transportadoras.

La ensambladora se puede utilizar para montar tapas sobre bases, como es el caso que se aborda o para mover elementos de un lugar a otro. Para el correcto funcionamiento de esta, se requiere colocar barras de posicionamiento tanto en la cinta que transporta las bases como las tapas, de forma que se asegure que ambas partes quedan alineadas y se produce un correcto ajuste entre las dos piezas. Las principales características son las siguientes [4]:

- Carrera del eje X: 1125 mm
- Carrera del eje Z: 625 mm
- Velocidad del brazo: 2 m/s
- Rotación del eje Z en incrementos de 90 grados (posibilidad de giro tanto del brazo completo como del sistema de fijación que incorpora en el extremo)

En la *Figura 3-7* se muestra la ensambladora de dos ejes en su posición de reposo, así como las barras de posicionamiento.

Una vez existen tres piezas en las cintas de salida de los centros de mecanizado, se mueven las dos cintas transportadoras, así como la curva para, de esta forma, posicionar tapas y bases en su ubicación correspondiente que vendrá delimitada por las barras de posicionamiento. Una vez que llegue una base o su correspondiente tapa, está quedará fijada por la barra de posicionamiento, cuya clapeta se cerrará hasta dejar bien amarrada la base o tapa (dependerá de si llega antes una que la otra).

Si la llegada de la base y tapa se produce en diferentes instantes, la ensambladora no debe arrancar. De este modo, cuando llega una de las partes queda fijada por su correspondiente barra de posicionamiento y cuando llega su complementaria se producirá la fijación de la otra.

Una vez se encuentran posicionadas y fijadas las dos partes de la pieza terminada, el brazo se moverá en el eje Z en sentido descendente hasta que detecte la tapa que debe coger. Cuando la haya

detectado, se activará una ventosa que permitirá mantener la tapa sujeta en todo momento al brazo ensamblador.

El siguiente paso será mover el eje Z en sentido ascendente hasta que llegue al final de carrera provisto. Una vez se encuentre arriba con la tapa fijada en el extremo, el brazo se extenderá toda su carrera en el eje X y seguidamente bajará en Z hasta hacer encajar la tapa con la base.



Figura 3-7: Ensambladora y sistemas de posicionamiento.

En este momento, la ventosa se desactivará y el brazo volverá a su posición de reposo moviéndose primero en el eje Z y después en el X. De esta forma, queda a la espera para montar la siguiente pieza que le llegue.

Como se ha comentado previamente, para que el montaje de ambas partes se realice correctamente, tanto la tapa como la base correspondiente deben estar completamente alineadas en el plano horizontal.

Una vez la pieza esté terminada de montar, se levantará la barra de posicionamiento de la cinta que transporta las bases, cinta que da continuidad al sistema. Esta barrera permanecerá arriba hasta que se detecte que una nueva base va a entrar en la etapa de ensamblaje. En ese momento bajará para producir la fijación de la misma y que se puedan seguir montando piezas con la ensambladora.

Habiendo dejado claro cuales son las entradas y salidas de la estación de ensamblaje y como se deben de comportar los diferentes elementos que la componen, se va a pasar a describir la siguiente estación o módulo en los que se ha dividido la planta.

3.1.3 Estación de tratamientos químicos.

Las piezas terminadas que comienzan a salir de la estación de ensamblaje necesitan un tratamiento químico superficial debido a las propiedades que se quieren obtener de las mismas, de cara al cumplimiento con su función requerida.

En la *Figura 3-8*, se muestra una visión general de la estación de químicos, aunque a medida que se vayan explicando los diferentes elementos, se irán adjuntando imágenes para facilitar la comprensión del lector de los diferentes sistemas.



Figura 3-8: Visión general de la estación de tratamientos químicos.

La estación de tratamientos químicos está compuesta por los siguientes elementos:

- Tanque de 300 litros que almacenará la mezcla química para posteriormente aplicarla a las diferentes piezas.
- Cintas transportadoras de entrada y salida.
- Barrera de cierre situada a la entrada de la estación.
- Pistón para provocar la salida de las piezas tras recibir el tratamiento.

A continuación, se comenzará a explicar la secuencia de operaciones y restricciones que se encuentran en esta sección de la planta.

Al levantarse la barrera de la estación de ensamblado, se activa la cinta transportadora de entrada de la estación de químicos, pudiéndose dar dos opciones posibles en su activación:

- 1) Si no existe ninguna pieza en la zona de chorreado del tanque, la cinta se activará hasta que se detecte la presencia de alguna pieza en dicha zona.

- 2) En caso de existir, alguna pieza, en la zona anteriormente comentada, recibiendo el producto químico, la cinta se activará por cada pieza entrante 3 segundos, lo que permitirá ir formando la cola para que vayan entrando en la zona de chorreado sin interferencias entre ellas. La posibilidad de realizar este proceso de esta forma reside en dos aspectos. El primero es que las piezas que se encuentran en la zona de chorreado del tanque se hallan apoyadas contra un tope y aunque se active la cinta, la posición de estas permanecerá invariable. El segundo aspecto importante es que se ha dispuesto en la entrada de la zona de chorreado una barrera que se activa justo cuando una pieza la atraviesa. De esta forma, se asegura que, aunque entren varias piezas a cada tres segundos, la primera como mucho chocará con la barrera y se conseguirá mantener las distancias entre ellas. Se parte del conocimiento de que las velocidades de chorreado y expulsión de la pieza nunca provocarán que, con la distancia de cinta establecida para la espera, se acumulen, de forma que se junten unas con las otras. En la *Figura 3-9* se aprecia la barrera en su posición activa.



Figura 3-9: Barrera de parada al comienzo de la zona de chorreado de químicos.

Una vez la pieza esté situada en la zona de chorreado de producto químico entrará en juego el tanque, el cual se va a explicar a continuación.

El tanque (*véase Figura 3-8*) incluye dos válvulas y un sensor de nivel capacitivo que permitirá en todo momento controlar el flujo de líquido que entra y sale de este. Las válvulas son controladas mediante actuadores neumáticos que reciben señales entre 0 y 10 V. Las características principales del tanque son las siguientes [4]:

- Altura: 3 m
- Diámetro: 2 m
- Diámetro tubería de descarga: 250 mm
- Caudal máximo de entrada (10 V): 0,25 m³/s
- Caudal máximo de salida (10 V): 0,3543 m³/s

Como se ha comentado anteriormente, el tanque es de 300 litros de capacidad. Por cuestiones de seguridad se establece que como máximo pueda llenarse hasta el 75 % de su capacidad, es decir, 225 litros. Por otro lado, nunca se apurará el tanque hasta que esté completamente vacío puesto que las propiedades del producto por debajo del 25 % de capacidad empeoran, requiriendo de esta forma un

rellenado de producto. Por tanto, el nivel del tanque siempre se encontrará entre el 25 % y el 75% de su capacidad total, es decir, entre 75 litros y 225 litros de producto químico.

Siempre que el nivel del tanque sea inferior a 75 litros, el tanque se llenará hasta alcanzar el límite superior impuesto por motivos de seguridad (225 litros). Si en el proceso de llenado completo llega alguna pieza para ser chorreada, esta esperará hasta que el tanque haya alcanzado su nivel superior de capacidad. Cabe mencionar que se parte de la hipótesis de que la entrada de líquido al tanque es infinita, es decir, nunca se agotará y siempre estará disponible en el momento que se requiera llenar o recibir el tanque de producto químico.

Cuando una pieza se sitúa en la zona de chorreado del tanque, si la válvula de llenado del tanque no se encuentra abierta, se abrirá la válvula de descargam de forma que se desaloje el volumen de producto requerido. Según el material de la pieza, el volumen de producto desalojado será diferente,

- 1) Si la pieza que se encuentra en la estación de químicos es plástica, independientemente de si es de color azul o verde, el tanque desalojará 30 litros de producto químico.
- 2) Si por el contrario la pieza es metálica, el tanque debe desalojar el doble de líquido, es decir, 60 litros para que el tratamiento químico se lleve a cabo de forma efectiva.

Por último, cabe mencionar que, si cuando se produce la llegada de la pieza, el tanque no tiene el suficiente nivel como para quedar por encima de los 75 litros antes comentados, se abrirá la válvula de llenado hasta alcanzar el nivel máximo establecido y justo después se abrirá la válvula de descarga el tiempo requerido para evacuar el nivel de líquido deseado según el material de la pieza. De esta forma se asegurará que no se bajade la barrera de los 75 litros.

Una vez ha acabado el tratamiento químico, un pistón se extenderá y empujará a la pieza hasta la cinta transportadora de salida de la estación. Justo en ese momento, la cinta de salida se activará pudiendo darse dos posibles opciones de activación:

- 1) Si en la barrera de posicionamiento de la clasificadora (siguiente estación) dispuesta al final de la cinta transportadora no existe ninguna pieza y por tanto la clasificadora no está ocupada, la cinta se activará hasta alcanzar la posición de la clasificadora.
- 2) Si, por el contrario, la cinta en la zona de operación de la clasificadora está ocupada, la activación de esta se llevará a cabo durante un tiempo concreto de forma que se permita la separación y cola entre las diferentes piezas que vayan saliendo. Cabe destacar que una vez que la zona de operación de la clasificadora quede libre, la cinta se activará si existen piezas en ella, en este caso se activará según lo explicado en el paso anterior.

En la *Figura 3-10* se muestran los elementos utilizados para producir la salida de las piezas tratadas químicamente. El elemento blanco de la izquierda es el pistón y el elemento rojo de la derecha es la clasificadora. La cinta que los une se corresponde con la cinta de salida de la estación.



Figura 3-10: Elementos de salida de la estación de químicos.

Cabe mencionar que una vez que se expulsa la pieza correspondiente de la zona de chorreado, la barrera de entrada antes comentada se abre y la cinta transportadora de entrada se activa en caso de existir piezas sobre ella.

Con esto, quedan explicados todos los elementos y especificaciones que componen la estación de tratamientos químicos. La siguiente estación que describir es la estación clasificadora de piezas terminadas.

3.1.4 Estación clasificadora de piezas terminadas.

La estación clasificadora pretende clasificar las piezas completamente terminadas tras el tratamiento químico en los tres grupos posibles de piezas que se pueden procesar de forma aleatoria. Al final, lo que se pretende es pasar de la aleatoriedad de las piezas en las colas, a la agrupación de estas, según su material y color. De esta manera, a la entrada de la zona de embalaje, las piezas llegarán ya ordenadas en los tres grupos posibles:

- Piezas metálicas.
- Piezas plásticas de color azul.
- Piezas plásticas de color verde.

Para llevar a cabo la clasificación se han utilizado los siguientes elementos:

- Pick and Place de dos ejes.
- Cinta transportadora de entrada que comunica la estación de químicos con la actual.
- Tres cintas transportadoras de salida que permitan la clasificación.
- Barra de posicionamiento para ajustar la pieza antes de comenzar el movimiento del brazo pick and place.

En la *Figura 3-11*, se observan todos los elementos enumerados, así como su disposición dentro de la estación clasificadora.

La cinta transportadora de entrada es la misma que la de salida de la estación de tratamientos químicos que previamente se ha descrito. Cuando se activa la cinta transportadora tras haberse expulsado la pieza de la estación de químicos, ésta permanecerá activa hasta que la pieza terminada llegue a la barra de posicionamiento de dicho pick and place, dado que es necesario alinear la pieza en el eje Z y producir así un agarre óptimo a la ventosa que tiene el brazo en su extremo.

Ya con la pieza en la barra de posicionamiento, esta última se cerrará dejando así la pieza completamente alineada en el eje Z. Acto seguido, el brazo bajará en dicho eje hasta que detecte que ha alcanzado la pieza que debe recoger. En el momento en que el sensor de detección se activa también lo hace la ventosa, que mediante succión permite el amarre para la posterior manipulación de la pieza.

A continuación, se abrirá la barra de posicionamiento y el brazo subirá hasta su posición en reposo tanto en X como en Z puesto que en esta ocasión el brazo no se ha tenido que desplazar hasta ahora en dicho eje.



Figura 3-11: Visión general de la estación clasificadora de piezas terminadas.

Una vez se tiene la pieza arriba, se abren tres posibles caminos dependiendo del tipo de pieza que se tenga sujeta. El tipo de pieza es posible saberlo gracias a un vector que va recordando que piezas van llegando en cada momento a esta estación. Las secuencias de operaciones según la pieza son las siguientes:

- 1) Si las piezas sujetadas son metálicas, éstas se marcharán por la cinta transportadora de la izquierda si atendemos al punto de vista de la figura anterior. Para ello, el brazo debe girar en sentido horario 90 grados, avanzar en el eje X hasta su final de carrera y bajar en el eje Z hasta alcanzar la superficie de la cinta transportadora. Finalmente, se desactivará la ventosa, se retraerá el brazo tanto en X como en Z y se producirá un giro de 90 grados en sentido opuesto al anterior para devolver el brazo a su posición de reposo y que pueda así clasificar las piezas siguientes.
- 2) Si las piezas en el extremo del brazo son plásticas de color azul, éstas seguirán la trayectoria descrita por la cinta situada a la derecha según la figura anterior. Las operaciones llevadas a cabo son análogas a las del caso anterior, solamente que en lugar de girar en sentido horario se girará en sentido antihorario y para restablecer la posición de reposo en sentido opuesto.
- 3) Por último, si las piezas son plásticas de color verde, éstas deben abandonar la estación por la cinta central. En esta ocasión, el brazo debe girar en sentido horario 90 grados 2 veces completando así un ángulo de 180 grados. Una vez se encuentre girado esos 180 grados respecto de la posición inicial, avanzará en el eje X al máximo posible y bajará en Z hasta alcanzar la cinta transportadora correspondiente. Cuando la pieza verde se encuentre apoyada en la cinta central, se desactivará la ventosa y el brazo se retraerá en X y Z y girará en dos ocasiones en el sentido opuesto al anterior, es decir, en sentido antihorario.

Por último, ya sean metálicas, plásticas azules o plásticas verdes, una vez que la pieza este apoyada en la cinta correspondiente y se desactive la ventosa, se pondrá en marcha la cinta hasta que la pieza entre en la zona de embalaje por el hueco que le corresponda.

En estos momentos donde se han descrito las diferentes especificaciones de la estación de clasificación de las piezas terminadas, siguiendo con la operación de la planta, se va a explicar los detalles y funcionamiento de la estación de embalaje.

3.1.5 Estación de embalaje.

FACTORY I/O no dispone de ninguna estación que simule de forma automática la introducción de las piezas en cajas y posterior cierre de las cajas. Sin embargo, si se toma la estación como una caja negra, sólo se debe atender a lo que pasa a la entrada y a la salida de esta, sin tener en cuenta los procesos y operaciones que dentro de ella puedan suceder.

En la *Figura 3-12*, se puede observar la estación de embalaje, donde las entradas coinciden con las salidas de la estación clasificadora de piezas terminadas. Existen tres entradas, cada una de las cuales se corresponden con un tipo de pieza según su color y material, lo que permite la introducción rápida de las piezas en sus cajas.



Figura 3-12: Visión general de la estación de embalaje.

El embalaje de las piezas no se llevará a cabo en el mismo tipo de caja, sino que serán cajas diferentes en función del material y el color de la pieza. Los tipos de caja utilizados y su relación con las piezas son los siguientes:

- Caja grande (L): utilizada para las piezas metálicas por ser el peso de estas superior.
- Caja mediana (M): se emplea para empaquetar piezas plásticas de color verde.
- Caja pequeña (S): se usará para embalar piezas plásticas de color azul.

Además de introducir las piezas en sus respectivas cajas, también se introducirán el resto de los accesorios comerciales y el plástico de burbujas que impida el deterioro de las piezas en su transporte. En la *Figura 3-13* se observa la relación entre las cajas y las piezas.

Cabe destacar, que, aunque visualmente pueda parecer que las piezas no cabrían en las cajas, se parte de la hipótesis de que si caben todas en sus respectivas cajas.

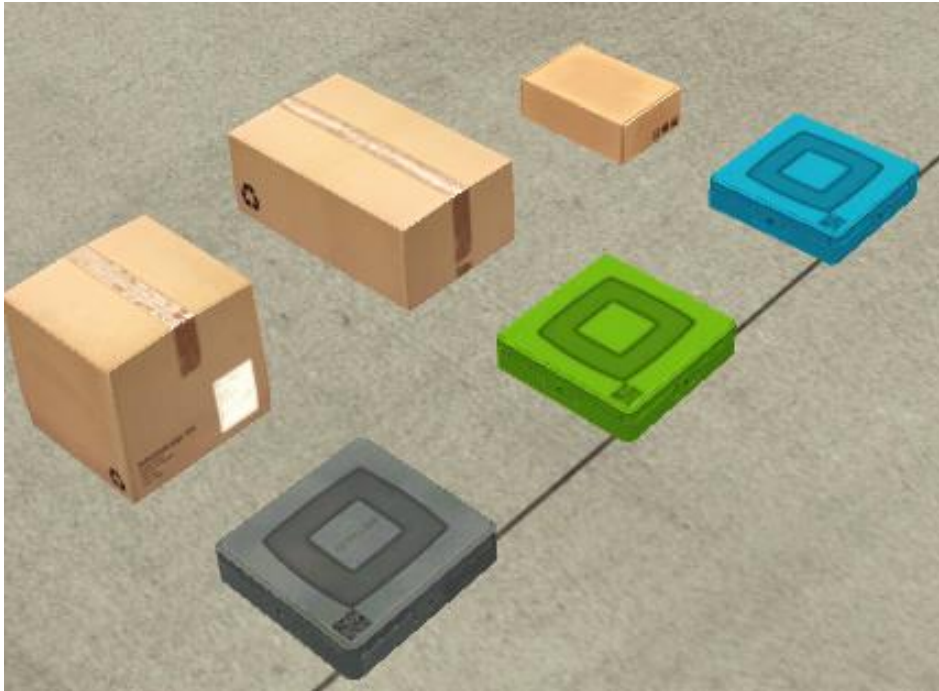


Figura 3-13: Relación de cajas con sus respectivas piezas.

El empaquetado estará orientado a la posterior paletización. En cada palet se montarán 4 cajas en caso de ser piezas metálicas, 2 cajas en caso de tratarse de piezas plásticas verdes y 4 cajas si se trata de piezas plásticas azules, por tanto, las cajas deberán salir todas a la vez en grupos de 4, 2 y 4 respectivamente.

Para controlar esto, se utilizarán contadores que recuerden en cada momento el número de piezas que van entrando de cada tipo. En el momento en el que se registra la cifra requerida, el número de cajas que correspondan según se ha comentado anteriormente, saldrán de la estación camino de ser paletizadas. Para que no se mezclen las cajas entre ellas, se dispondrá de un vector que recuerde el tipo de piezas que alcanzó antes el número requerido para poder enviar sus cajas correspondientes al exterior.

En ese mismo instante, el contador correspondiente disminuirá en 4 unidades si se trata de cajas grandes, en 2 unidades si son cajas medianas y en 4 unidades si las cajas que han salido han sido pequeñas.

Además, se colocará un sensor a la salida de la estación, con el fin de conocer en cada momento las cajas que están saliendo ya preparadas. Esto permitirá disminuir los contadores de entrada en la forma en la que se ha explicado anteriormente y además permitirá cesar la emisión de cajas de uno u otro tipo.

La activación y desactivación de la cinta transportadora de salida de la estación de embalaje se explicará en la siguiente sección cuando se describa la estación de paletizado. Al final, la cinta de salida de la estación de embalaje constituye la primera cinta de entrada de la siguiente estación.

3.1.6 Estación de paletizado.

El objetivo de la estación de paletizado es montar de una forma ordenada las cajas, procedentes de la estación de embalaje, en palets. La estación de paletizado está compuesta por los siguientes elementos:

- Paletizadora automática. Es el elemento clave de la estación. Aunque su aplicación dentro de

FACTORY I/O es apilar cajas de carton del tamaño pequeño utilizado en la aplicación que se está abordando, por la forma en la que se utilizará la paletizadora, se ha conseguido su correcta utilización para el resto de cajas empleadas. Las características principales de este elemento son las siguientes [4]:

- Carrera del piston que empuja las cajas: 880 mm.
- Carrera del ascensor de palets: 1750 mm
- Velocidad del ascensor: 2 m/s
- Cintas transportadoras de entrada de cajas al paletizador: se trata de 3 cintas, la primera es la que sale de la estación de embalaje, una segunda cinta transportadora, en este caso inclinada para alcanzar la altura de la boca de entrada de cajas al paletizador y por ultimo, otra cinta recta que sirva de union entre la cinta inclinada y el paletizador.
- Transportadores de rodillos de entrada y de salida: el transportador de rodillos de entrada suministrará los palets necesarios y por el transportador de rodillos de salida saldrán los palets ya cargados con las cajas.

En la *Figura 3-14* se pueden observar la disposición de los diferentes elementos previamente comentados.



Figura 3-14: Visión general de la estación de paletizado

Se comenzará explicando el funcionamiento que se espera de las cintas transportadoras de entrada de cajas.

Una vez se registra que un grupo de cajas puede abandonar la estación de embalaje, se activarán todas las cintas, es decir, la primera que une la estación de embalaje con la cinta inclinada, la cinta inclinada y la cinta transportadora que une la cinta inclinada y el paletizador. Aunque en esta ocasión se activen todas a la vez, el funcionamiento de las cintas será independiente en dos grupos, por un lado la cinta de unión entre la estación de embalaje y la cinta inclinada y por otro lado el resto.

La primera cinta se activará siempre que existan necesidades de emitir cajas desde la estación de embalaje. Esta cinta parará si se dan alguna de las siguientes circunstancias:

- No existen piezas encima de ella.
- Se alcance el sensor final de la cinta y en el grupo de cintas posteriores, es decir, la cinta inclinada y la cinta de unión con el paletizador existan un máximo de cuatro cajas.
- Cuando haya alguna caja parada justo en la entrada del paletizador, si se alcanza el sensor final de dicha cinta, la cinta debe parar aun cuando el número de cajas en las posteriores sea inferior a cuatro.

Por su parte, el segundo grupo de cintas se activará cuando se produzca un flanco positivo en el sensor de entrada al grupo de cintas, que coincide con el sensor de salida de la anterior. Por otra parte, se deben activar cuando se vaya a producir la entrada de cajas en la paletizadora. Para la entrada de cajas existen dos posibilidades:

- En caso de tratarse de cajas grandes y pequeñas la entrada al paletizador se hará de dos en dos por tanto, una vez se active la cinta permanecerá activa hasta que entre la segunda caja. Además, aunque hayan entrado las dos cajas, la cinta permanecerá activada hasta que la siguiente caja de la cinta se quede justo a la entrada del paletizador a la espera de poder entrar.
- Por el contrario, si se trata de cajas medianas, la entrada al paletizador se realizará de una en una. De igual forma que para el caso anterior, la cinta permanecerá activa hasta que la siguiente caja se quede en la entrada del paletizador.

En la *Figura 3-15* se muestra con mayor claridad una vista de las cintas para facilitar al lector la comprensión de los elementos que se están comentando.

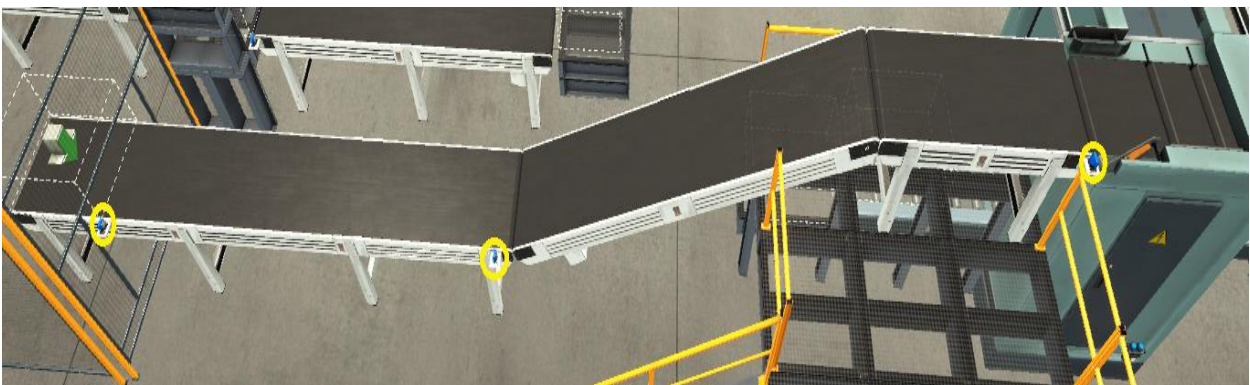


Figura 3-15: Cintas transportadoras de unión entre la estación de embalaje y la paletizadora

En siguiente lugar, se comentará como se produce la entrada de palets en el paletizador. Como se puede observar en la figura anterior, la entrada de palets se produce a un nivel inferior al que se produce la entrada de cajas. La entrada de palets se produce a través de un camino de rodillos de 2 metros. Al arrancar la planta, el transportador de rodillos se activará siempre que no exista ningún palet esperando a entrar en el paletizador porque este ultimo se encuentre ocupado. En definitiva, se activará siempre que se requiera un palet en el paletizador y por el contrario se parará si el paletizador ya está ocupado.

Por ultimo, se mostrarán las especificaciones y funcionamiento del paletizador. La entrada de palets y cajas podrá realizarse simultáneamente, lo único que debe de tenerse en cuenta es la sincronización entre las cajas y el palet en el momento de colocarlas encima de este ultimo.

El palet entrará por el nivel inferior del paletizador. Si el paletizador se encuentra vacío y se produce un flanco positivo del sensor de entrada, la cadena que dispone el paletizador se activará en el sentido que facilite la entrada del palet, además de mantener activado el camino de rodillos que los suministra. Por su parte, el espacio de carga de palets dispone de dos sensores capacitivos que facilitan el control de la posición de este, permaneciendo la cadena activa hasta que ambos sensores se encuentren activos.

Una vez que el palet se encuentra en la plataforma, esta subirá hasta su posición más elevada y se mantendrá en espera hasta que el número de cajas que correspondan se encuentren posicionadas encima de la compuerta.

Simultáneamente a la entrada del palet se puede estar produciendo la entrada de cajas en el nivel superior de la estación. Como bien se explicó en la descripción del funcionamiento de las cintas transportadoras, las cajas entrarán de dos en dos en caso de tratarse de cajas grandes y pequeñas y de una en una en caso de ser cajas medianas. A continuación, se explica la secuencia de operaciones para los tres tipos de caja:

- Cuando una caja pequeña entra en contacto del campo de vision del sensor de entrada en el paletizador, la cinta cargadora de cajas del paletizador arrancará y permanecerá activa hasta que en ella haya dos cajas. En este momento, la cinta parará y el pistón empujador introducirá las cajas en la compuerta. Acto seguido se retraerá el pistón y arrancará de nuevo la cinta cargadora hasta introducir las otras dos cajas que componen el palet montado. Con las cajas en la cinta volverá a salir el pistón para meter estas dos cajas en la compuerta también. Cuando las cuatro cajas están colocadas en la compuerta, se activarán unas palas centradoras que ajusten las cajas unas contra otras.

En este momento, si el palet se encuentra posicionado en el nivel superior, se abrirá la compuerta. Cuando la compuerta se abre, las cajas comienzan a deslizar y es justo en ese instante cuando se abrirán las palas centradoras. Con las palas en su posición de reposo, bajará el palet hasta la posición de salida, se cerrará la compuerta superior y arrancará la cadena de entrada de palets con el fin de expulsar el palet ya montado y que un nuevo palet pueda acceder a la plataforma.

- En caso de ser una caja grande la que se aproxime al sensor de entrada, la secuencia de operaciones será exactamente igual a la explicada en el punto anterior, que hace referencia a el montaje del palet para el caso de cajas pequeñas.
- Por ultimo, para el caso de cajas medianas el proceso varía un poco respecto al ya explicado para el resto de cajas. De igual forma que para el resto de casos, cuando una caja mediana entra en contacto con el campo de interacción del sensor de entrada en la cinta de carga de cajas del paletizador, ésta arrancará. Sin embargo, se activará para producir la entrada de sólo una caja y no dos como para el resto de tipos de cajas. Una vez dentro, se activará el empujador dejando la caja en la compuerta. A continuación, se retraerá el empujador,

dejando de esta forma entrar a la segunda caja que compondrá el palet montado. Se repetirá de nuevo el proceso y ya con ambas cajas dentro se activarán las palas centradoras.

Por ultimo, si el palet está colocado para posicionar encima de él las cajas, se abrirá la compuerta, se desactivará el actuador de las palas centradoras y el ascensor bajará hasta la posición más baja activando de esta forma la cadena cargadora de palets para que el palet ya formado abandone la paletizadora.

Hasta aquí llega la descripción del funcionamiento de la estación de paletizado, consiguiendo en esta estación obtener palets completamente terminados, ya listos para ser almacenados. En la siguiente sección, se analizarán los elementos y la forma de almacenar dentro de la planta.

3.1.7 Estación de almacenaje.

La estación de almacenaje es el ultimo módulo de la planta virtual automatizada. Una vez que se han introducido en cajas las diferentes piezas y se han colocado en los palets, estos palets se almacenarán hasta que exista demanda exterior de las diferentes piezas.

Para almacenar los palets, se utilizarán dos almacenes tipo racks como se explicará posteriormente con más detalle. Uno de los racks estará reservado unicamente para piezas metálicas y el otro para piezas plásticas. Por tanto, en el rack destinado a almacenar piezas metálicas únicamente se encontrarán cajas grandes mientras que en el rack destinado a piezas plásticas se podrán encontrar tanto cajas pequeñas como cajas medianas. A efectos de organización, el rack de piezas plásticas se dividirá en dos partes iguales de 3 filas por todas las columnas, dado que el rack completo dispone de 6 filas.

Los elementos que componen todo el proceso de transporte hacia los almacenes y posterior almacenaje son los siguientes:

- 2 racks con sus respectivas grúas apiladoras: la grúa apiladora montada sobre raíles se encargará de posicionar los diferentes palets en la posición correspondiente. Incluye un carro, una plataforma vertical y dos horquillas que pueden deslizarse tanto a izquierda como a derechas. Además, en el carro y en la plataforma existen dos telemetros láser para medir la posición tanto horizontal como vertical de la plataforma.

Por su parte, los racks son marcos de acero verticales conectados con tubulares de acero horizontales con el objetivo de almacenar las cargas o palets. El bastidor que se tiene es un bastidor de una sola profundidad o bastidor selectivo de forma que solo se podrá almacenar un palet de profundidad, ofreciendo eso sí la posibilidad de almacenar desde ambos lados del bastidor.

Además, cada uno de los estantes debe encontrarse alineado con uno de los extremos del carril para que el transelevador pare en la posición correcta. Algunas características del conjunto son las siguientes [4]:

- Carrera de las horquillas: 1200 mm
- Carrera del carro: 1050 mm
- Carrera de la plataforma: 6625 mm
- Velocidad del carro: 1,4 m/s
- Velocidad horquillas: 0,5 m/s
- Velocidad de la plataforma: 1,7 m/s
- Número de estantes para el total de la carrera: 54

Respecto a la configuración elegida para el movimiento del transelevador, se ha elegido la configuración numérica, es decir, el estante objetivo se define mediante un valor entero entre 1 y 54 de forma que sea sencillo su control mediante el uso de vectores. Si el valor se establece en cero, el transelevador se detendrá en la posición actual. Por otra parte, si es superior a 54, volverá a la posición de reposo.

- Plataforma giratoria motorizada: comúnmente se emplea para trabajos pesados. En el caso estudiado se empleará para clasificar los palets y así mandarlos al almacén de piezas plásticas o al de piezas metálicas. La plataforma está equipada con rodillos periféricos de giro libre y sensores preinstalados. Las características principales de la mesa giratoria son las siguientes [4]:
 - Radio de rodillo: 45 mm
 - Velocidad máxima de transporte: 0,45 m/s
 - Velocidad angular de la mesa: 0,7 rad/s
 - Alcance de los sensores capacitivos ya instalados: 0 – 100 mm
- Caminos de rodillos de diferentes longitudes para el transporte de los palets hasta los almacenes así como para la salida de los palets de los correspondientes almacenes. Se trata de transportadores de rodillos de alta resistencia que para el caso que se está analizando se controlarán mediante valores digitales ajustando la configuración. Algunas características de los caminos de rodillos son las que se muestran a continuación [4]:
 - Radio de los rodillos: 46 mm
 - Longitudes empleadas: 2 y 6 m
 - Velocidad máxima de transporte: 0,45 m/s

En el caso del camino de rodillos curvos, se controlará igualmente mediante valores digitales. Tanto el radio de rodillo como la velocidad de transporte son idénticas que en el caso de los tramos rectos. Como característica diferente destaca la siguiente [4]:

- Perímetro externo en el borde del rodillo: 2940 mm
- Los últimos elementos utilizados en la estación de almacenaje son los transportadores de carga. En la estación se pueden encontrar cuatro transportadores de carga, dos por cada almacén. Son transportadores de carga pesada que se emplearán para cargar y descargar los palets en el transelevador del almacén correspondiente.

Las características de los rodillos y la velocidad de transporte máxima, son idénticas a las expuestas en elementos anteriores.

En la *Figura 3-16* se muestra una vista general en la que se pueden apreciar tanto los racks como el resto de elementos que se han descrito anteriormente.

Habiendo descrito todos los elementos actuadores se va a pasar a explicar el funcionamiento de la estación, incluyendo los movimientos relativos al transporte de palets así como los movimientos de los transelevadores y las prioridades de movimientos.



Figura 3-16: Visión general de la estación de almacenaje.

Cuando los palets salen perfectamente acabados de la paletizadora, en el momento que el primer camino de rodillos detecte que está entrando un palet, éste se activará. En dicho camino de rodillos se producirá la lectura de la altura del palet con las cajas de tal forma que permita identificar y recordar que tipo de pieza va en el interior de las cajas y así en la mesa giratoria posterior saber hacia que sentido se debe enviar. Se pueden dar cuatro situaciones diferentes que provoquen la parada de este primer transportador.

- 1) Si se alcanza el sensor que indica el final del transportador y la mesa giratoria se encuentra ocupada porque se encuentre seleccionando la dirección de movimiento de otro palet, el transportador parará.
- 2) Si el transportador de carga del almacén de piezas plásticas (almacén derecho de la figura anterior) está ocupado por un palet, ya que el transelevador está realizando movimientos de carga o descarga de piezas y aún no ha podido retirarlo de dicho transportador, y además las piezas primeras en el primer transportador de rodillos son plásticas, éste parará. No será necesario su paro si las piezas son metálicas puesto que la mesa giratoria podrá derivar piezas hacia el otro almacén.
- 3) De igual forma que para el caso anterior, si el transportador de carga del almacén de piezas metálicas (almacén izquierdo de la figura anterior) se encuentra con algún palet encima y la siguiente caja del primer transportador es metálica, este parará. Tampoco será necesario parar

si la caja corresponde con una pieza plástica, en cuyo caso se podrá enviar al almacén de piezas plásticas.

- 4) En este caso se incluyen todas las posibles combinaciones de las tres situaciones comentadas.

Ya se conoce el funcionamiento del primer transportador, ahora es el momento de describir la mesa giratoria puesto que es el siguiente elemento dentro de la secuencia.

A la mesa giratoria accederán palets siempre y cuando no se encuentre ocupada y además no se den ninguno de los supuestos antes comentados. Cuando un palet alcanza la entrada de la mesa giratoria y además la mesa se encuentre en su posición de reposo, se activarán los rodillos incorporados en ella y el transportador anterior para facilitar la entrada. Los rodillos integrados se desactivarán una vez se activen los dos sensores capacitivos que están igualmente integrados en la mesa y facilitan que el palet quede centrado. En este momento, se producirá el reconocimiento del tipo de caja y por tanto de piezas que se va a mover, pudiendo darse dos situaciones posibles:

- 1) Si se trata de piezas plásticas, si se recuerda se trata de cajas pequeñas o medianas, lo único que habrá que hacer es activar nuevamente los rodillos incorporados en la mesa para enviarlas directamente al frente. Hasta que no se produzca la desactivación de los dos sensores de la plataforma, los rodillos no pararán.
- 2) El caso de las piezas metálicas es más complejo. Una vez se encuentre montado el palet en la plataforma, esta girará 90 grados hasta alcanzar la posición perpendicular que será detectada por un sensor. Justo en este instante se activarán de nuevo los rodillos integrados en el mismo sentido que en el resto de ocasiones hasta expulsar el palet con la ayuda del camino de rodillos posterior. Sólo si el palet se encuentra completamente fuera la mesa podrá volver a su posición de reposo girando en el sentido opuesto.

Los transportadores posteriores a la mesa giratoria se activarán de forma conjunta, es decir, si el palet que abandona la mesa debe dirigirse hasta el almacén de piezas metálicas, se activarán todos los transportadores comprendidos entre la mesa y el almacén de metálicas. De igual forma si se trata de piezas plásticas, funcionarán los rodillos comprendidos entre la mesa y el almacén de plásticas. Sendos caminos pararán si algún palet alcanza el sensor final del camino correspondiente. Por supuesto, si existen más palets encima del camino, en el instante que el sensor final de este pase a estar nuevamente desactivado, el camino retomará su actividad hasta que un nuevo palet alcance dicho sensor.

Por ultimo, se explicará el funcionamiento de los transelevadores de los almacenes. Se describirá el funcionamiento para el caso del almacén de piezas plásticas, pudiendo extrapolarse su funcionamiento para el otro almacén con la salvedad de que en el primero se almacenarán dos tipos de piezas diferentes y en el segundo solo una.

En el momento que un palet se sitúe en el transportador de carga del almacén, si el transelevador se encuentra en su posición de reposo, se procederá al almacenado de dicho palet. En primer lugar, se activará la horquilla hacia la dirección en la que se encuentra el palet.

En siguiente lugar, se activará el ascensor de la plataforma para eliminar el contacto entre el palet y el transportador y así de esta forma poder recoger la horquilla hasta su posición de reposo. Ya con la plataforma elevada y la horquilla en la posición de reposo se enviará el palet al primer hueco libre que exista teniendo en cuenta que si las piezas son plásticas azules se guardarán en las tres primeras filas desde el suelo y si son verdes en las tres filas más alejadas del suelo. (en el caso de piezas metálicas, bastará con buscar el primer hueco libre).

Cuando el transelevador se encuentre enfrentado con el estante correspondiente, la horquilla se extenderá en el sentido del estante, acto seguido bajará la plataforma de forma que el palet quede apoyado en las guías del estante y por ultimo, se recogerán las horquillas hasta su posición de reposo.

Con las horquillas en reposo, el transelevador regresará a su posición inicial siempre y cuando no exista petición de sacar piezas del almacén como se explicará a continuación. En este último caso, el transelevador se moverá hasta la posición del palet que hay que sacar. Todo el proceso se repetirá tantas veces como piezas vayan llegando al transportador de carga.

El siguiente paso será explicar las especificaciones de la descarga de piezas de los almacenes. En este sentido cabe mencionar que la salida de piezas será prioritaria a la entrada, es decir, si un palet está esperando para entrar pero hay solicitudes de salida de palets, primero se sacarán los palets pertinentes y una vez finalizado, se meterán los palets que estaban esperando para entrar.

Para solicitar la salida de piezas del almacén, se dispondrán de tres botones en el panel de control de la estación de almacenaje. El primer botón solicitará la salida de piezas plásticas azules (cajas pequeñas), el segundo piezas plásticas verdes (cajas medianas) y el tercero piezas metálicas (cajas grandes). Al ir pulsando los diferentes botones, estos guardarán unos valores diferenciadores en el orden de solicitud para que en el momento en el que se encuentre libre el transelevador, comience a sacar los palets en el orden solicitado.

El proceso de salida de palets es similar al de entrada con la única diferencia de que en el último paso el transelevador dejará el palet en el transportador de descarga, momento en el cual se activarán los rodillos del transportador de descarga y los del transportador consecutivo.

Por último, en el panel de control de la estación se encontrarán 3 displays que muestran en cada momento los palets con cada tipo de piezas que se encuentran almacenadas. También se podrán visualizar tres indicadores luminosos que se activarán en el caso que alguno de los almacenes o partes de los mismos se llenen.

3.2 Lista de sensores y actuadores.

Una vez explicado el funcionamiento de la planta, haciendo especial hincapié en las activaciones de los actuadores, se va a proceder a recoger de forma organizada los sensores y actuadores presentes en cada una de las estaciones que se han explicado anteriormente. Además, se mostrarán las vistas en planta de la ubicación tanto de sensores como de actuadores, para que el lector pueda identificar fácilmente los elementos que se comenten.

3.2.1. Estación de mecanizado.

En esta sección se recogerán todos los sensores y actuadores de la estación de mecanizado, que si se recuerda, estaba compuesta por dos centros de mecanizado CNC, los sistemas suministradores de materia prima y el sistema de rechazo. Las cintas de unión entre una y otra estación se irán incorporando en una u otra sección independientemente.

En la *Tabla 3-1* se recogen los sensores de la estación en estudio así como una breve descripción de los mismos.

Tabla 3-1: Sensores de la estación de mecanizado.

<i>Sensor</i>	<i>Descripción.</i>
SENSOR_AZUL	Sensor difuso situado al final de la cinta de suministro de brutos plásticos de color azul. Detectará cuando un bruto abandona la cinta.
SENSOR_VERDE	Sensor difuso situado al final de la cinta de suministro de brutos plásticos de color verde. Detectará cuando un bruto abandona la cinta.

SENSOR_GRIS	Sensor difuso situado al final de la cinta de suministro de brutos metálicos. Detectará cuando un bruto abandona la cinta.
SENSOR_BASES	Sensor difuso situado justo en el inicio de la bahía de entrada del centro de mecanizado productor de bases.
SAL_BASES	Sensor difuso situado justo en la salida de la bahía de salida del centro de mecanizado productor de bases.
SAL_C1	Sensor difuso que indica el final de la cinta de salida del centro de mecanizado de bases. Facilitará el control de bases que se encuentran en dicha cinta.
PROCESS_2	Sensor que indica el porcentaje del proceso de fabricación de la base que se lleva completado.
VISION	Sensor de visión que permitirá reconocer el color del material que atraviese su área de trabajo. De esta forma, se podrá mandar las señales a las cintas de suministro individuales de tochos para fabricar bases.
SENSOR_TAPAS	Sensor difuso situado justo en el inicio de la bahía de entrada del centro de mecanizado productor de tapas.
SAL_TAPAS	Sensor difuso situado justo en la salida de la bahía de salida del centro de mecanizado productor de tapas.
SAL_C3	Sensor difuso que indica el final de la cinta de salida del centro de mecanizado de tapas. Facilitará el control de tapas que se encuentran en dicha cinta.
PROCESS_1	Sensor que indica el porcentaje del proceso de fabricación de la tapa que se lleva completado.
SENSOR_RECHAZO	Sensor difuso situado en el inicio de la cinta encargada de retirar los tochos que no se deben de mecanizar por estar los almacenes completos.
SENSOR_FIN_RECHAZO	Sensor difuso situado al final de la cinta encargada de retirar los materiales crudos, que no se deben de procesar, ya que los almacenes se encuentran llenos.
PISTON1_FUERA	Sensor integrado en el pistón que empuja los tochos rechazados e indica cuando el pistón se encuentra extendido.
PISTON1_DENTRO	Igual que el anterior es un sensor integrado en el pistón e indica cuando el pistón se encuentra recogido.

En la *Figura 3-17*, se muestra la vista en planta de los sensores expuestos en la tabla anterior.

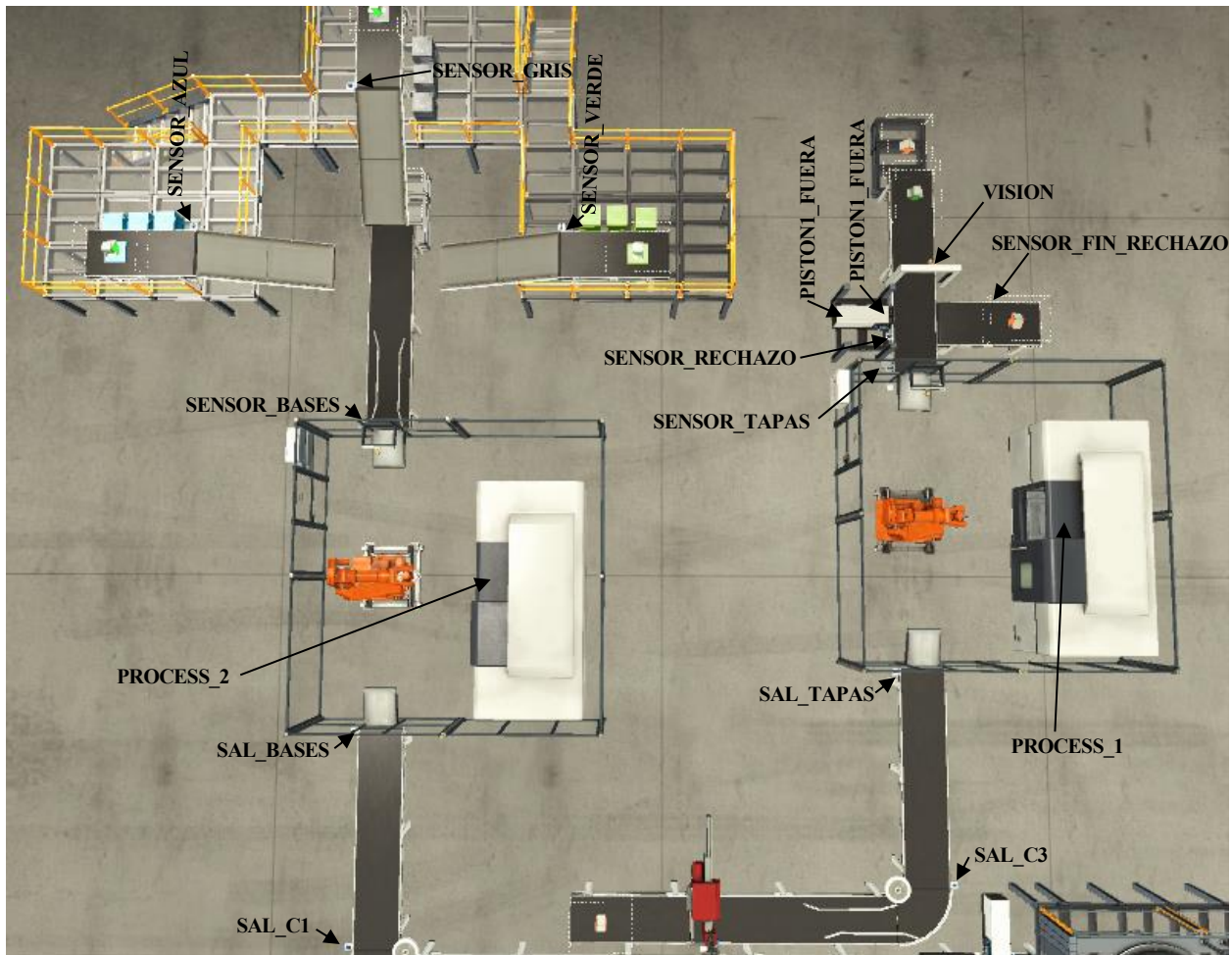


Figura 3-17: Ubicación en planta de los sensores de la estación de mecanizado.

Por su parte, en la *Tabla 3-2* se recogen los actuadores de la estación que se está analizando en esta sección.

Tabla 3-2: Actuadores de la estación de mecanizado.

<i>Actuador</i>	<i>Descripción.</i>
CINTA_AZUL	Cinta individual de suministro de brutos plásticos de color azul referida al centro de mecanizado encargado de procesar las bases. Se trata de una cinta transportadora de 2 metros
CINTA_VERDE	Cinta individual de suministro de brutos plásticos de color verde referida al centro de mecanizado encargado de procesar las bases. Se trata de una cinta transportadora de 2 metros.
CINTA_GRIS	Cinta individual de suministro de brutos metálicos caracterizados por su color grisáceo. Se encuentran igualmente referidas al centro CNC encargado de procesar las bases. Se trata de una cinta transportadora de 2 metros

CINTA_COMUN	Cinta transportadora de 4 metros que recoge brutos de cualquier material procedente de las cintas individualizadas por materiales. Sentido de transporte hacia el centro de mecanizado
CINTA_COMUN_ATRAS	Se trata de la misma cinta anterior pero con sentido de transporte opuesto, es decir, se produce el movimiento en el sentido contrario al centro de mecanizado.
CNC2	Activación del centro de control numérico de bases.
STOP_CNC2	Parada del centro de mecanizado de bases así como de su robot.
C1	Cinta transportadora de 4 metros. Es la cinta de salida del centro CNC productor de bases donde las piezas producidas deben esperarse unas a otras hasta que existan tres en la cinta.
EMITIR_BRUTOS	Actuador encargado de emitir brutos, de manera aleatoria, para procesarlos y convertirlos en tapas.
CINTA_TAPAS	Cinta transportadora de 4 metros que transporta los brutos destinados a transformarse en tapas. Sentido de transporte hacia el centro de mecanizado.
CINTA_TAPAS_ATRAS	Misma cinta que la anterior pero con el sentido de transporte opuesto, es decir, se produce el movimiento en sentido contrario al centro de mecanizado que fabrica tapas.
CNC1	Activación del centro de control numérico de tapas.
STOP_CNC1	Parada del centro de mecanizado de bases así como de su robot.
C3	Cinta transportadora de 4 metros. Constituye la salida del centro de mecanizado productor de tapas. Al igual que para las bases, en esta cinta se esperarán las unas a las otras hasta que existan tres en la cinta.
CINTA_RECHAZO	Cinta transportadora de 2 metros dispuesta perpendicularmente a la cinta que transporta los brutos para mecanizar, utilizada para retirar las materias primas que no deben ser procesadas.
PISTON1	Pistón dispuesto para retirar los brutos que no se deben de mecanizar.

En la *Figura 3-18*, se observa la ubicación en planta de los distintos actuadores, cuyo reconocimiento será sencillo gracias a las etiquetas que ofrece FACTORY I/O.

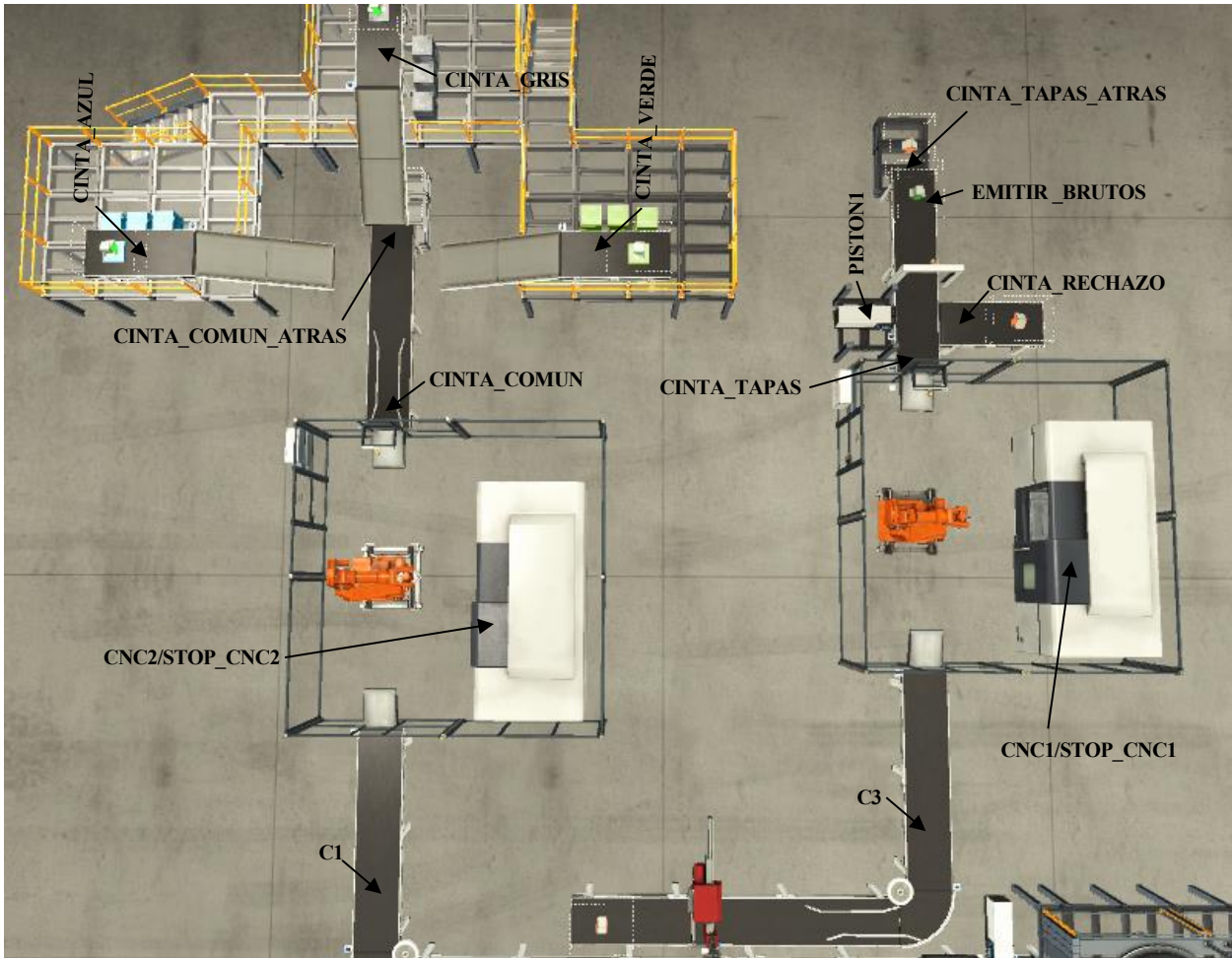


Figura 3-18: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de mecanizado.

3.2.2. Estación de ensamblaje.

La estación de ensamblaje es el área de la planta que tiene como entradas bases y tapas de diferentes materiales y se obtiene como salida la pieza final montada, a la espera de ser tratada químicamente con el producto del tanque.

De igual forma que se ha hecho para la estación anterior, se recogerán los sensores y actuadores que componen este módulo de la planta.

En la *Tabla 3-3* quedan recogidos los diferentes sensores que ayudarán a realizar las operaciones pertinentes de forma correcta.

Tabla 3-3: Sensores de la estación de ensamblaje.

<i>Sensor</i>	<i>Descripción.</i>
CLAMPED_BASES	Sensor integrado en la barra o barrera de posicionamiento colocada en la cinta transportadora de bases. Indica el instante en el que la clapeta se encuentra cerrada y por tanto, la base completamente alineada.
CLAMPED_TAPAS	Sensor integrado en la barra o barrera de posicionamiento colocada en la cinta transportadora de tapas. Indica el instante en el que la clapeta se encuentra cerrada y por tanto, la tapa completamente alineada.

SX	Sensor integrado en el pick and place de 2 ejes. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje X independientemente del sentido y se desactivará al llegar a la posición contraria de la que partió.
SZ	Sensor integrado en el pick and place de 2 ejes. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje Z independientemente del sentido y se desactivará al llegar a la posición contraria de la que partió.
DETECTADO	Sensor colocado en el extremo de la herramienta del brazo. Se activará al hacer contacto con la tapa que debe mover para ensamblarla con la base correspondiente
LIMITE_BARRERA	Este sensor pertenece a la barrera de posicionamiento del lado de las bases. Permanecerá activo mientras se produzca el movimiento de subida o bajada de la barra de posicionamiento y se desactivará al alcanzar la posición final.
S8	Sensor difuso situado justo unos centímetros antes de la barrera de posicionamiento para detectar cuando se aproxima una base
S9	Sensor difuso situado justo unos centímetros antes de la barrera de posicionamiento para detectar cuando se aproxima una tapa

La ubicación de los sensores previamente explicados es la que se muestra en la *Figura 3-19*. También se muestran los límites de trabajo de la estación.

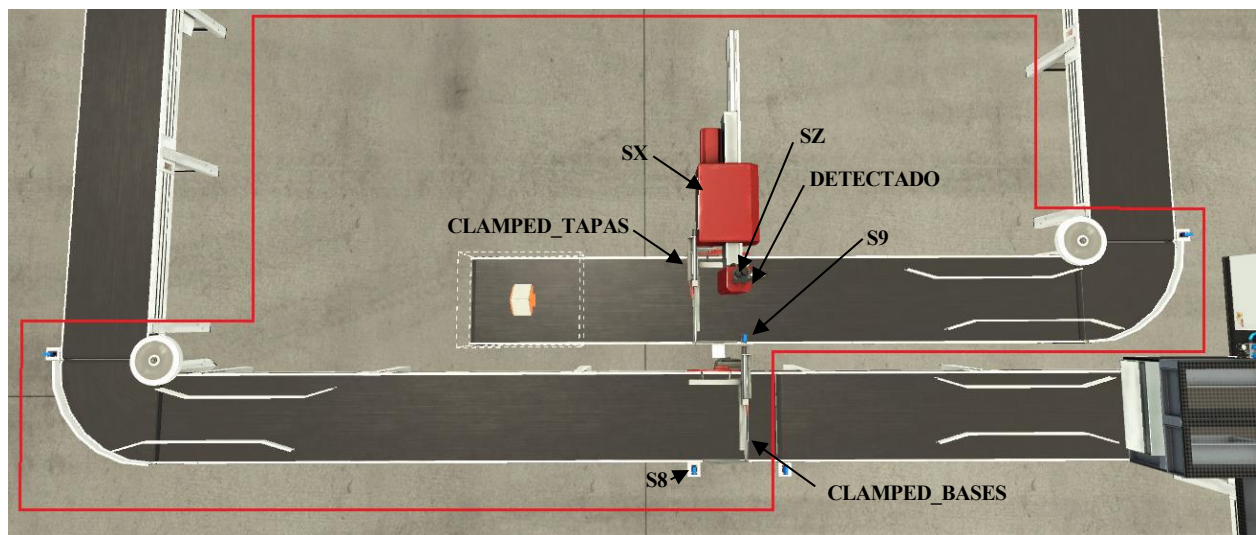


Figura 3-19: Ubicación en planta de los sensores de la estación de ensamblaje.

De igual forma, los actuadores involucrados en esta estación son los que se detallan en la *Tabla 3-4*.

Tabla 3-4: Actuadores de la estación de ensamblaje.

<i>Actuador</i>	<i>Descripción.</i>
C2	Cinta transportadora recta de 6 metros procedente del centro de mecanizado productor de bases. Esta cinta se encarga de transportar las diferentes bases hasta que alcancen la barrera de posicionamiento correspondiente de la estación de ensamblaje.
C4	Cinta transportadora recta de 6 metros procedente del centro de mecanizado productor de tapas. Esta cinta se encarga de transportar las diferentes tapas hasta que alcancen la barrera de posicionamiento correspondiente de la estación de ensamblaje.
CW	Cinta transportadora curva con giro en sentido horario. Forma la unión entre la cinta C3 de la estación de mecanizado y la cinta C4
CCW	Cinta transportadora curva con giro en sentido antihorario. Sirve para dar continuidad entre la cinta C3 de la estación de mecanizado y la cinta C4
POS_BASES	Actuador que produce el cierre de la clapeta integrada en la barra de posicionamiento situada en la cinta transportadora de bases.
POS_TAPAS	Actuador que produce el cierre de la clapeta integrada en la barra de posicionamiento situada en la cinta transportadora de tapas.
MOVX	Movimiento del brazo pick and place de dos ejes en la dirección X.
MOVZ	Movimiento del brazo pick and place de dos ejes en la dirección Z.
VENT	Ventosa situada en el extremo del brazo. Al activarse se producirá la succión de la ventosa contra el material.
SUBIR_BARRERA	Actuador que produce la subida de la barra de posicionamiento situada en la cinta por la que circulan bases.
SUBIR_BARRERA2	Actuador que produce la subida de la barra de posicionamiento situada en la cinta por la que circulan bases. Sólo se activará cuando la planta se encuentre en modo de inicialización, para poder regresar al modo automático tras sufrir una parada de emergencia.

Igual que en los casos anteriores, en la *Figura 3-20* se muestra la ubicación en planta de los actuadores comentados en la tabla anterior.

Habiendo detallado los sensores y actuadores de la estación actual, se va a proceder a comentar los que conforman la siguiente estación.

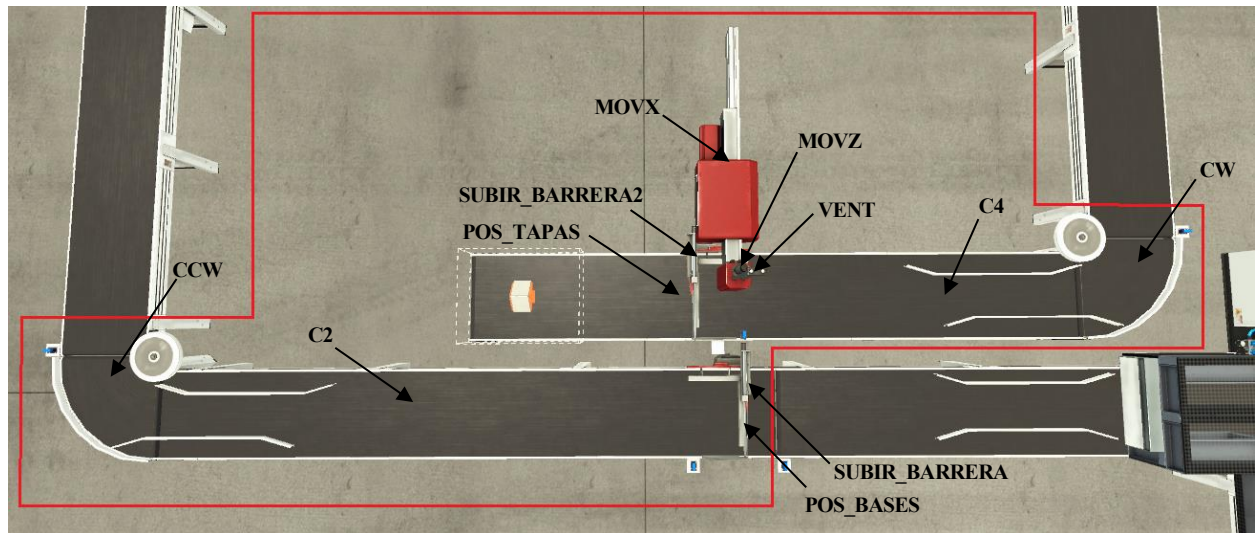


Figura 3-20: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de ensamblaje.

3.2.3. Estación de tratamientos químicos.

En la estación de tratamientos químicos, las piezas ya montadas eran sometidas a unos productos químicos cuya finalidad era mejorar sus propiedades de cara a su venta y distribución en los distintos centros de trabajo.

En la *Tabla 3-5* se recogen los distintos sensores empleados en este área de la planta y la descripción de lo que se espera de ellos.

Tabla 3-5: Sensores de la estación de tratamientos químicos.

<i>Sensor</i>	<i>Descripción.</i>
S12	Sensor difuso situado en el inicio de la cinta de entrada a la estación de tratamientos químicos. Cada vez que se active significará que hay una pieza más esperando a ser tratada.
SENSOR_QUIMICO	Sensor difuso situado en la posición de chorreado del producto químico sobre la pieza.
SAL_QUIMICOS	Sensor difuso situado en la salida de la zona de chorreado de productos químicos.
SENSOR_CAP	Sensor capacitivo situado justo en la entrada de la zona de chorreado de productos químicos. Se encuentra oculto en el entramado de tramex. La finalidad de este sensor es detectar cuando entra una pieza para así cerrar la zona de chorreado, activando la barrera dispuesta para tal fin.
NIVEL_TANQUE	Sensor que permite detectar el nivel del tanque en cada instante de tiempo. Se configura como una variable real que permita contabilizar decimales.
PISTON_FUERA	Sensor integrado en el pistón dispuesto para la salida de las piezas ya tratadas químicamente. Este sensor indica cuando el pistón se

	encuentra extendido toda su carrera.
PISTON_DENTRO	Sensor integrado en el pistón dispuesto para la salida de las piezas ya tratadas químicamente. Este sensor indica cuando el pistón se encuentra totalmente recogido.

En la *Figura 3-21* se muestra la ubicación en planta de los diferentes sensores que componen la estación así como el área de operación del módulo en estudio.

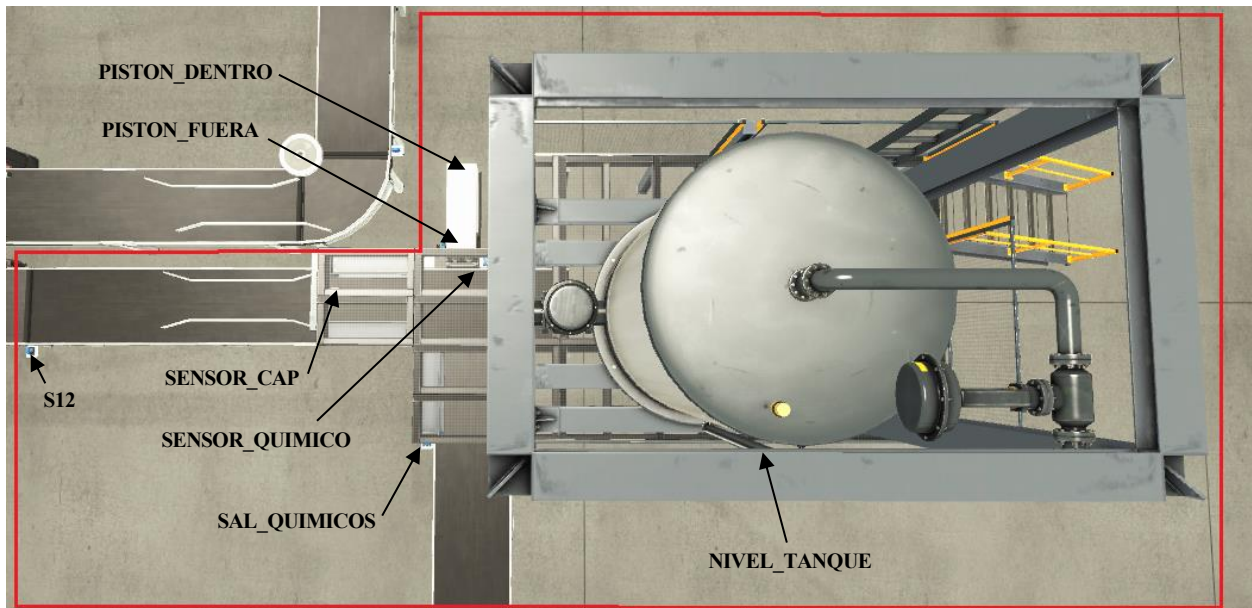


Figura 3-21: Ubicación en planta de los sensores de la estación de tratamientos químicos.

Por su parte, en la *Tabla 3-6* se recogen los diferentes actuadores utilizados en el proceso.

Tabla 3-6: Actuadores de la estación de tratamientos químicos.

<i>Actuador</i>	<i>Descripción.</i>
LLENA_TANQUE	Válvula de llenado del tanque. Según la señal recibida permite la regulación de la apertura de la misma.
DESCARGA_TANQUE	Válvula de vaciado del tanque. Según la señal recibida permite la regulación de la apertura de la misma.
PUSH	Pistón encargado de la salida de las piezas ya tratadas de la zona de chorreado. Su activación supondrá la extensión del pistón.
CINTA_IN_QUIMICOS	Cinta transportadora (6m) de entrada a la estación de tratamientos químicos. Se encuentra justo después de la ensambladora.

CINTA_OUT_QUIMICOS	Cinta transportadora (6m) de salida de la estación de químicos. Su activación provocará la salida de las piezas ya tratadas químicamente además de servir de unión con la siguiente estación.
BARRERA_QUIMICOS	Barrera situada en la entrada de la zona de chorreado de productos químicos. Mediante su activación se impide la entrada de piezas nuevas a dicha zona.

Por ultimo, se mostrará la ubicación en planta de los actuadores comentados (véase Figura 3-22)

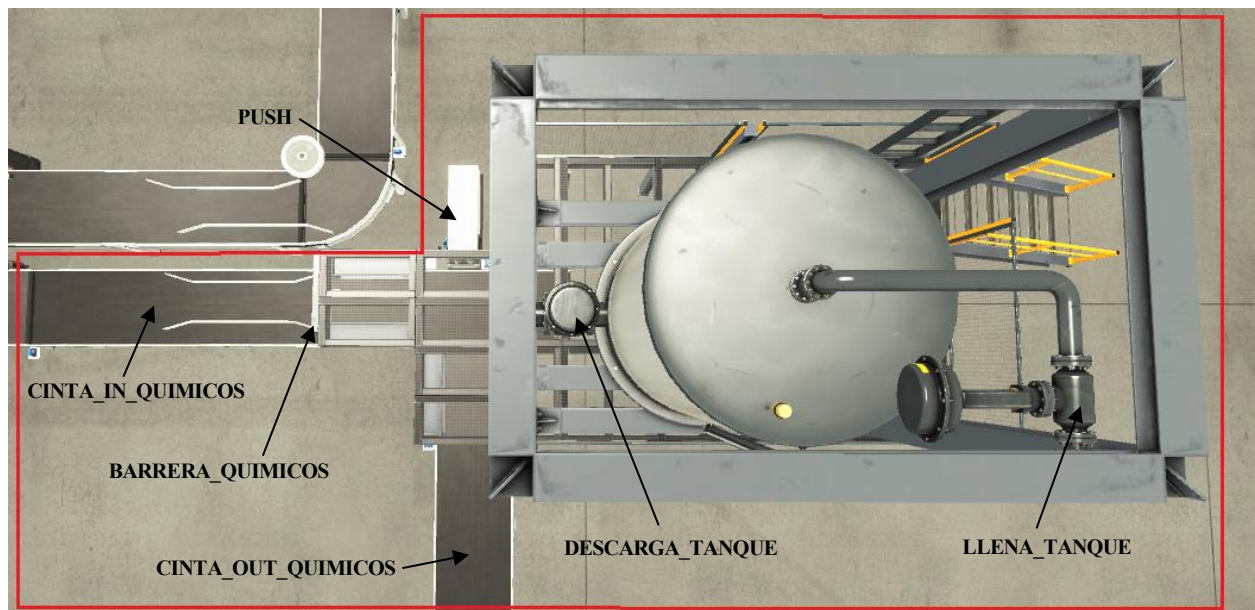


Figura 3-22: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de tratamientos químicos.

3.2.4. Estación clasificadora de piezas terminadas.

Como ya se comentó cuando se explicaron las especificaciones de la planta, la estación clasificadora de piezas terminadas tiene como objetivo separar las distintas piezas que van saliendo de la etapa de tratamientos químicos y derivarlas por uno u otro camino en función del material del que estén realizadas.

A continuación, se muestran los sensores dispuestos para los fines que se persiguen. (véase Tabla 3-7)

Tabla 3-7: Sensores de la estación clasificadora de piezas terminadas.

<i>Sensor</i>	<i>Descripción.</i>
S13	Sensor difuso situado unos centímetros antes de la barrera de posicionamiento, para detectar cuando una pieza se encuentra dentro del campo de trabajo de la clapeta.
CLAMPED_CLASIFICA	Sensor integrado en la barra o barrera de posicionamiento colocada en la cinta transportadora procedente de la estación de tratamientos químicos. Indica el instante en el que la clapeta se encuentra cerrada y por tanto, la pieza y el brazo de la pick and place se encuentran

	alineados.
SX2	Sensor integrado en el pick and place de 2 ejes. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje X independientemente del sentido y se desactivará al llegar a la posición contraria de la que partió.
SZ2	Sensor integrado en el pick and place de 2 ejes. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje Z independientemente del sentido y se desactivará al llegar a la posición contraria de la que partió.
SENSOR_GIRO	Sensor perteneciente al pick and place de 2 ejes. Este sensor se encontrará activo mientras se produzca el giro de la máquina y volverá a encontrarse inactivo al llegar a una posición desfasada 90 grados respecto de la posición inicial, independientemente del sentido de giro
DETECTADO2	Sensor colocado en el extremo de la herramienta del brazo. Se activará al hacer contacto con la tapa que debe mover para ensamblarla con la base correspondiente
S14	Sensor difuso situado en el final de la cinta transportadora encargada de llevar a la zona de embalaje las piezas plásticas azules ya clasificadas del resto.
S15	Sensor difuso situado en el final de la cinta transportadora encargada de llevar a la zona de embalaje las piezas plásticas verdes ya clasificadas del resto.
S16	Sensor difuso situado en el final de la cinta transportadora encargada de llevar a la zona de embalaje las piezas metálicas ya clasificadas del resto.

En la *Figura 3-23*, se puede apreciar la situación en planta de los sensores comentados en la tabla anterior.

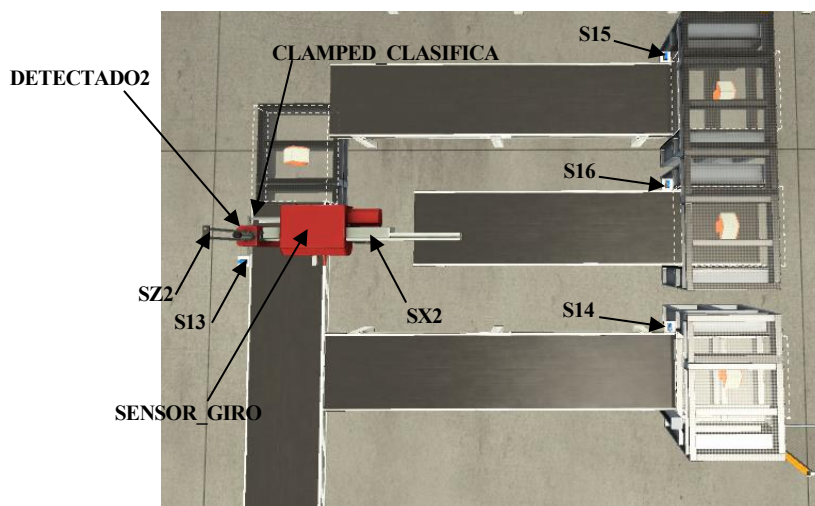


Figura 3-23: Ubicación en planta de los sensores de la estación clasificadora.

En siguiente lugar, en la *Tabla 3-8* se detallan los diferentes actuadores de la estación en estudio.

Tabla 3-8: Actuadores de la estación clasificadora de piezas terminadas.

<i>Actuador</i>	<i>Descripción.</i>
POS_CLASIFICA	Actuador que produce el cierre de la clapeta integrada en la barrera de posicionamiento situada en la cinta transportadora de llegada a la clasificadora.
MOVX2	Movimiento del brazo pick and place clasificador de dos ejes en la dirección X.
MOVZ2	Movimiento del brazo pick and place clasificador de dos ejes en la dirección Z.
GIRO_HORARIO	Giro del brazo pick and place clasificador de dos ejes 90 grados en sentido horario.
GIRO_ANTIHORARIO	Giro del brazo pick and place clasificador de dos ejes 90 grados en sentido antihorario.
VENT2	Ventosa situada en el extremo del brazo. Al activarse se producirá la succión de la ventosa contra la pieza.
CINTA_IZQUIERDA	Cinta transportadora de 4 metros por la que circulan piezas plásticas azules camino de la estación de embalaje.
CINTA_DERECHA	Cinta transportadora de 4 metros por la que circulan piezas metálicas camino de la estación de embalaje.
CINTA_CENTRAL	Cinta transportadora de 4 metros por la que circulan piezas plásticas verdes camino de la estación de embalaje.
SUBIR_BARRERA_3	Actuador que produce la subida de la barra de posicionamiento situada en la cinta por la que circulan piezas terminadas. Sólo se activará cuando la planta se encuentre en modo de inicialización, para poder regresar al modo automático tras sufrir una parada de emergencia.

En la *Figura 3-24* se muestra la ubicación en planta de los diferentes actuadores explicados.

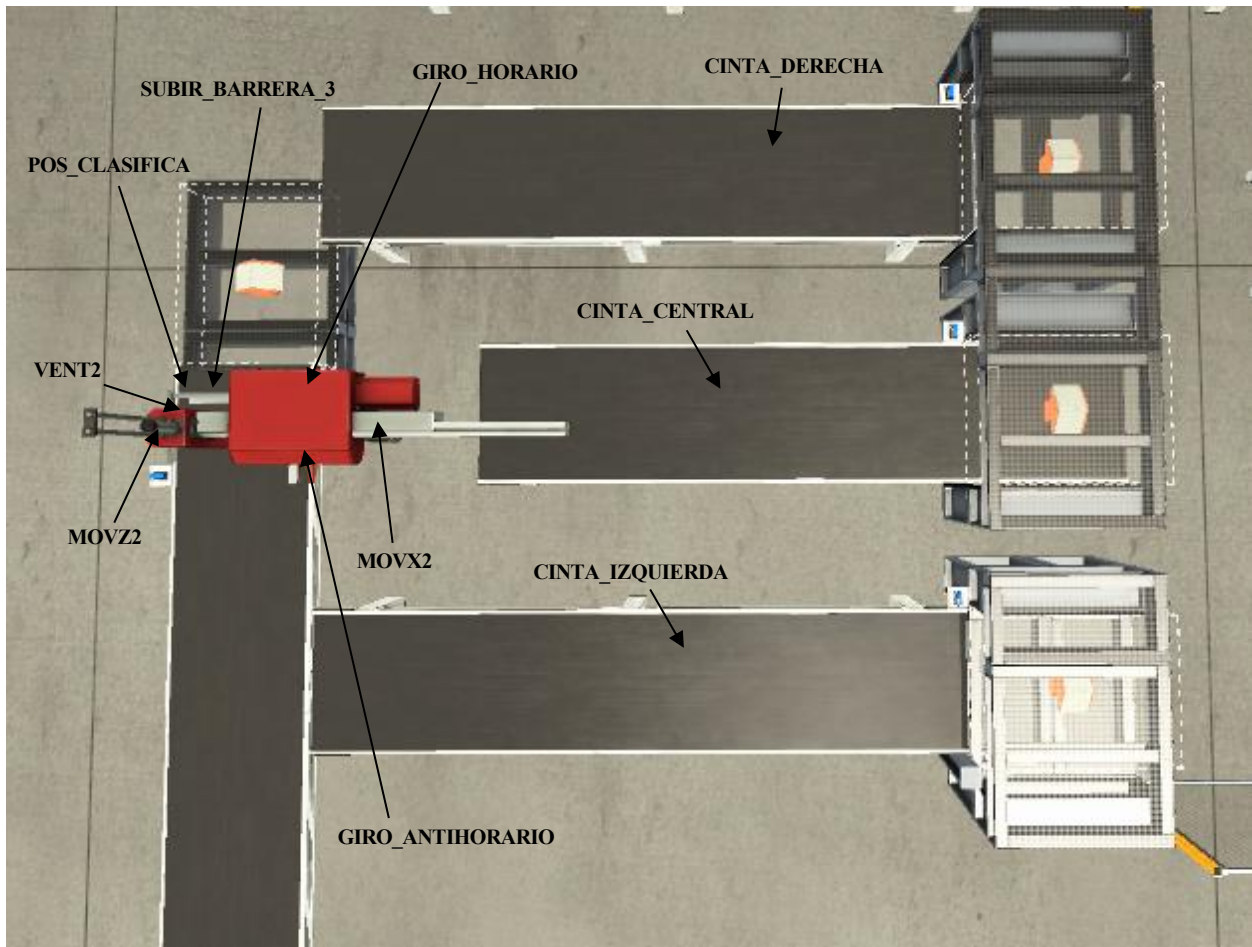


Figura 3-24: Ubicación en planta de los actuadores de la estación clasificadora.

3.2.5. Estación de embalaje.

Dado que esta estación es una zona simulada y parte de los sensores coinciden con los de la estación anterior, sólo existen un sensor y dos actuadores que comentar en esta estación, quedando reflejados en la *Tabla 3-9* y *3-10* respectivamente.

Tabla 3-9: Sensores de la estación de embalaje.

<i>Sensor</i>	<i>Descripción.</i>
SENSOR_EMBALAJE	Sensor difuso situado en la salida del centro de embalaje. Su función consiste en detectar el número de cajas que van saliendo del mismo tipo, para mandar la señal de fin de emisión de cajas.

Tabla 3-10: Actuadores de la estación de embalaje.

<i>Actuador</i>	<i>Descripción.</i>
EMITIR	Actuador encargado de emitir cajas de distintos tipos, dependiendo del tipo de pieza que se vayan recibiendo en la estación.

PIEZA	<p>Actuador que selecciona el tipo de caja que debe aparecer para emitirse. Tres casos son posibles según la lógica explicada anteriormente:</p> <ul style="list-style-type: none"> -PIEZA=8: Emisión de cajas pequeñas (piezas azules) -PIEZA=4: Emisión de cajas grandes (piezas metálicas) -PIEZA=2: Emisión de cajas medianas (piezas verdes)
-------	--

En la *Figura 3-25* se puede observar la disposición en planta de los sensores y actuadores que conforma la estación de embalaje.

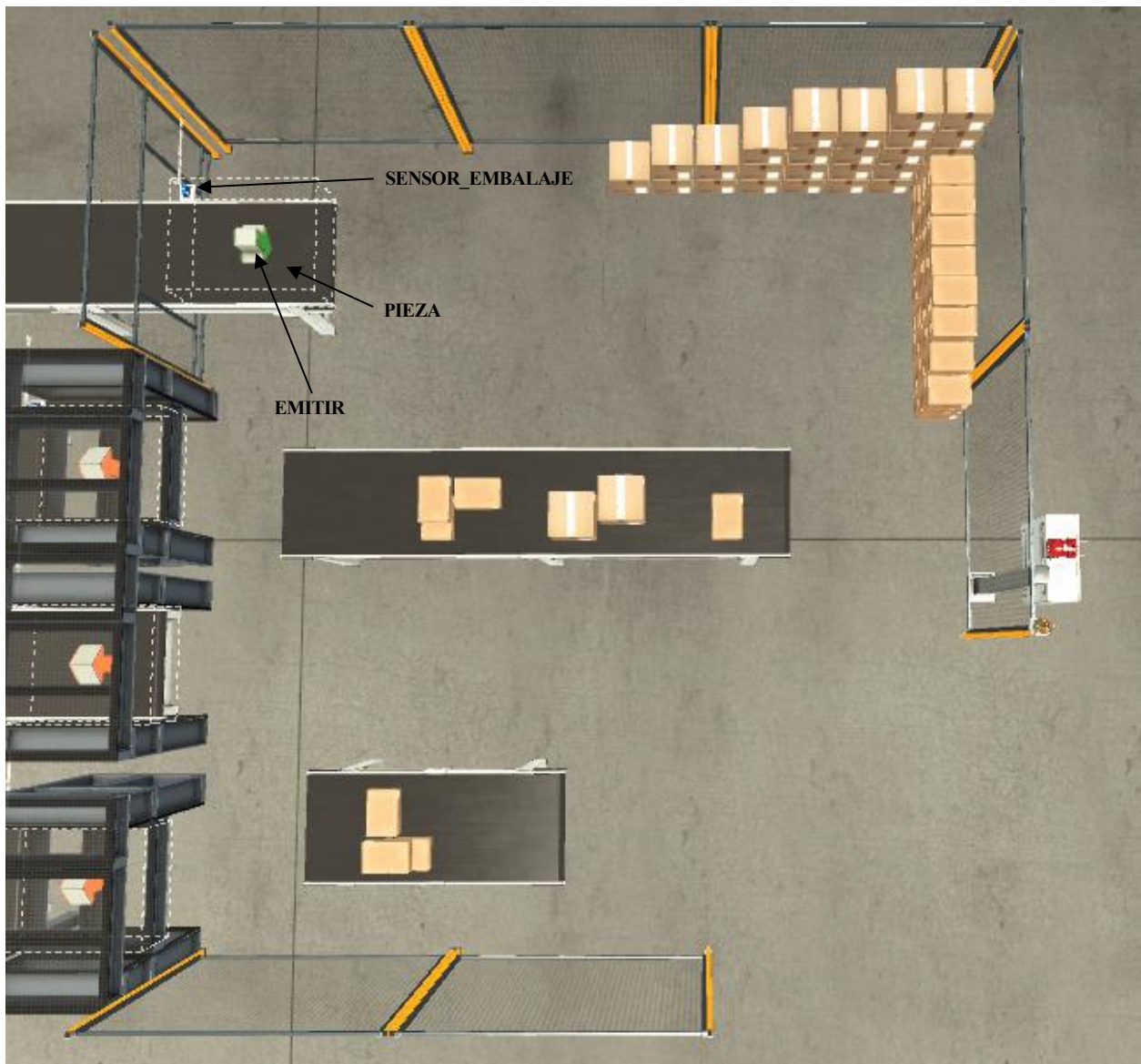


Figura 3-25: Ubicación en planta de sensores y actuadores de la estación de embalaje.

A continuación, se va a pasar a detallar cada uno de los sensores y actuadores necesarios para el paletizado de las diferentes cajas.

3.2.6. Estación de paletizado.

La estación de paletizado tiene como objetivo pasar de cajas individuales que circulan por cintas transportadoras a grupos de cajas montadas en un palet, de tal forma que permita su almacenamiento de una manera sencilla.

En primer lugar, se recogen los sensores con su descripción en la *Tabla 3-11*.

Tabla 3-11: Sensores de la estación de paletizado.

<i>Sensor</i>	<i>Descripción.</i>
S18	Sensor difuso colocado en la boca de entrada de palets de la paletizadora. Mediante este sensor se controlará la activación y desactivación del transportador de rodillos previo a él.
S19	Sensor difuso situado en la boca de entrada de cajas de la paletizadora. Influirá en la activación y desactivación de las cintas transportadoras anteriores.
S30	Sensor difuso colocado al final de la cinta de salida del centro de embalaje, justo antes de la cinta inclinada. Este sensor permitirá controlar el funcionamiento de la cinta.
SENSOR_ENTRADA_ELEVADOR	Sensor capacitivo integrado en la plataforma elevadora del paletizador. Junto con el siguiente sensor de esta tabla, indicará cuando un palet está entrando, se encuentra en la plataforma o está saliendo.
SENSOR_SALIDA_ELEVADOR	Sensor capacitivo integrado en la plataforma elevadora del paletizador. Junto con el sensor anterior de esta tabla, indicará cuando un palet está entrando, se encuentra en la plataforma o está saliendo.
SENSOR_ELEVACION	Sensor integrado en la plataforma elevadora del paletizador. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca el movimiento vertical de la plataforma independientemente del sentido, y se desactivará al llegar a la posición contraria de la que partió.
PISTON_PALLET_FUERA	Sensor propio de la paletizadora. Indica la posición del empujador o pistón encargado de introducir las cajas a la compuerta. Permanecerá desactivado mientras se produzca el movimiento de extensión o recogida y se activará cuando el empujador esté completamente extendido o recogido.
SENSOR_SUJECCION	Este sensor se encuentra integrado en la propia paletizadora e indicará si las clapetas amontonadoras han llegado a su posición final de cierre.

COMPUERTA_ABIERTA	Sensor que indicará cuando la compuerta para posicionar las cajas en el palet se encuentra abierta. Este sensor permanecerá activo cuando la compuerta esté totalmente cerrada o abierta, permaneciendo desactivado durante el movimiento de apertura o cierre de la compuerta.
-------------------	---

En la *Figura 3-26*, se muestran la ubicación de los sensores en la planta.



Figura 3-26: Ubicación en planta de los sensores de la estación de paletizado.

Para finalizar la explicación de la estación actual, en la *Tabla 3-12* se recogen los diferentes actuadores que forman parte de la estación.

Tabla 3-12: Actuadores de la estación de paletizado.

<i>Actuador</i>	<i>Descripción.</i>
EMITIR_PALLETS	Actuador encargado de emitir palets de forma continua, atendiendo en todo momento a la demanda.
CINTA_EMBALAJE	Cinta transportadora de 6 metros situada a la salida del centro de embalaje. Supondrá el primer tramo del camino hacia la entrada de cajas en el paletizador.
CINTA_EMBALAJE_ATRAS	Se trata de la misma cinta transportadora anterior con la diferencia de que en este caso el sentido de transporte es el opuesto. Este sentido sólo será empleado para la inicialización de la planta tras sufrir una parada de emergencia.
CINTA_INCLINADA	Cinta transportadora inclinada situada entre la cota de las cintas apoyadas en el suelo y la cota de la cinta de entrada de cajas al paletizador.
CINTA_INCLINADA_ATRAS	Este actuador acciona la cinta inclinada anterior en el sentido de transporte opuesto al habitual. Solo será empleado para la inicialización de la planta tras una parada de emergencia o una conmutación entre los modos automático y manual.

CINTA_PALLETS	Cinta transportadora de 2 metros colocada en el inicio de la bahía de entrada de cajas en el paletizador. Unión entre cinta inclinada y paletizador.
CINTA_PALLETS_ATRAS	Se trata de la misma cinta transportadora anterior con la diferencia de que en este caso el sentido de transporte es el opuesto. Al igual que el resto de variables que llevan el sobrenombre “ATRAS”, este actuador se activará durante la inicialización o rearme de la planta.
ROLLER_1	Transportador de rodillos de 2 metros que se encargará de guiar los palets hasta la plataforma de la paletizadora.
ROLLER_1_ATRAS	Se trata del mismo transportador de rodillos anterior con la diferencia de que en este caso el sentido de transporte es el opuesto. Este sentido sólo será empleado para la inicialización de la planta tras sufrir una parada de emergencia.
CADENA_IN	Cadena incorporada en la plataforma del elevador de la paletizadora. Esta cadena será la encargada de entrar los palets en la plataforma y también de sacarlos camino de los almacenes.
CADENA_OUT	Misma cadena que la anterior pero girando en sentido opuesto. Utilizada para la inicialización del sistema tras producirse una parada de emergencia.
ELEVADOR_SUBE	Actuador que produce la subida de la plataforma sólo un nivel de los varios que posee.
ELEVADOR_BAJA	Actuador que produce la bajada de la plataforma sólo un nivel de los varios que posee.
ELEVACION_MAXIMA	Actuador que combinado con alguno de los anteriores produce la subida o bajada hasta las posiciones extremas.
CAJAS_IN	Pequeña cinta transportadora de la paletizadora encargada de introducir las cajas en el campo de trabajo del empujador.
CAJAS_OUT	Se trata de la misma pequeña cinta transportadora de la paletizadora, encargada de introducir las cajas en el campo de trabajo del empujador. Sin embargo, este actuador no introducirá las cajas al paletizador, sino que las extraerá del mismo.
PISTON_PALLETS	Pistón o empujador encargado de pasar las cajas de la cinta transportadora a la compuerta.
SUJECCION_CAJAS	Se trata de las clapetas amontonadoras encargadas de colocar correctamente las cajas en la compuerta.

<p>ABRIR_COMPUERTA</p>	<p>Actuador que provoca la apertura y cierre de la compuerta que mantiene cerrado el hueco por el que saldrán las cajas para su colocación sobre el palet correspondiente.</p>
------------------------	--

En la *Figura 3-27* se muestra la ubicación de los distintos actuadores que conforman la estación de paletizado. También se puede observar el área de operación de la estación.

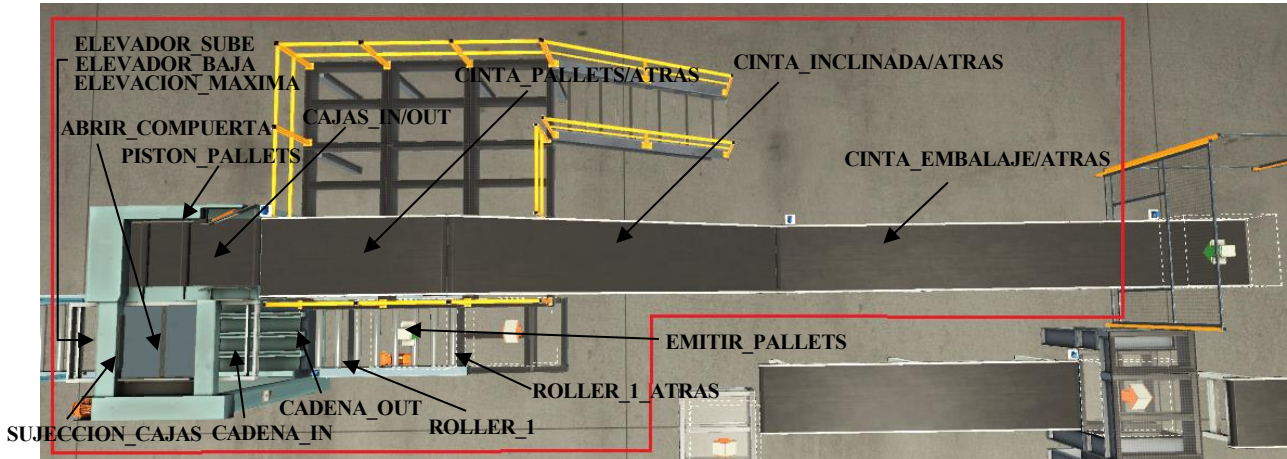


Figura 3-27: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de paletizados.

Por ultimo, se expondrán los sensores y actuadores de la estación de almacenaje.

3.2.7. Estación de almacenaje.

La estación de almacenaje tiene como objetivo almacenar los palets completos en dos almacenes, dependiendo del material y color de las piezas fabricadas. Para conseguir este fin se han empleado los sensores que se muestran en la *Tabla 3-13*.

Tabla 3-13: Sensores de la estación de almacenaje.

<i>Sensor</i>	<i>Descripción.</i>
SENSOR_ALTURA	<p>Se trata de un sensor formado por una barra emisora y una barra receptora. El número de haces de luz emitidos son 8 y el valor analógico que devolverá el sensor será igual al resultado de la siguiente expresión:</p> $\text{Valor analógico} = 10 \cdot N^{\circ} \text{ haces interrumpidos} / 8$
S20	<p>Sensor difuso situado en la salida de la paletizadora. La activación de este sensor indicará que un palet está saliendo de la paletizadora y por tanto, se deben de arrancar los transportadores de rodillos que guiarán al palet hasta el almacén correspondiente.</p>
S21	<p>Sensor difuso situado en la entrada de la mesa giratoria. Este sensor es clave para parar el camino de rodillos situado entre la paletizadora y la mesa giratoria, en caso de estar ocupada esta última.</p>
S22	<p>Sensor difuso situado en el inicio del transportador de rodillos que dirige los palets hacia el almacén de piezas metálicas.</p>

S23	Sensor difuso situado en el inicio del transportador de rodillos que dirige los palets hacia el almacén de piezas plásticas.
S24	Sensor difuso situado en la entrada del almacén de piezas plásticas. Un flanco positivo de este sensor indicará que un palet está posicionado para ser introducido en el almacén.
S25	Sensor difuso situado en la entrada del almacén de piezas metálicas. Un flanco positivo de este sensor indicará que un palet está posicionado para ser introducido en el almacén.
S26	Sensor difuso situado en el transportador de descarga del almacén de piezas plásticas. Un flanco positivo significará que se ha sacado un palet del almacén y que debe activarse el transportador de rodillos que sacará el palet hasta su recepción fuera del almacén.
S31	Sensor difuso situado en el transportador de descarga del almacén de piezas metálicas. Un flanco positivo significará que se ha sacado un palet del almacén y que debe activarse el transportador de rodillos que sacará el palet hasta su recepción fuera del almacén.
S32	Sensor difuso situado en el final del transportador de rodillos de salida del almacén de piezas plásticas. Servirá para parar el transportador en el momento idóneo.
S33	Sensor difuso situado en el final del transportador de rodillos de salida del almacén de piezas metálicas. Servirá para parar el transportador en el momento idóneo.
IN_PLATFORM	Sensor capacitivo integrado en la mesa giratoria. En la planta estudiada supone el primer sensor de los dos que se encuentran integrados. La activación de este sensor implicará el encendido de los rodillos para cargar el palet en la mesa.
OUT_PLATFORM	Sensor capacitivo integrado en la mesa giratoria. En la planta analizada es el segundo sensor de los dos que se encuentran integrados. La activación de este sensor implicará la parada de los rodillos de la mesa, en el caso en el que haya que girar la mesa.
TURN_0	Sensor integrado en la mesa giratoria que indica la posición angular de la mesa giratoria. Si este sensor se encuentra activado significa que la mesa se encuentra en su posición de reposo.
TURN_90	Al igual que el anterior, se trata de un sensor integrado en la mesa giratoria que indica la posición angular de la mesa giratoria. Si este sensor se encuentra activado significa que la mesa se encuentra girada 90 grados respecto de su posición de reposo.

SENSOR_CENTRAL_A1	Sensor integrado en la plataforma de la grúa del almacén de piezas plásticas. Si se encuentra activado indica que las horquillas se encuentran en su posición de reposo.
SENSOR_DER_A1	Sensor integrado en la plataforma de la grúa del almacén de piezas plásticas. Si se encuentra activado indica que las horquillas se encuentran extendidas hacia el lado derecho.
SENSOR_IZQ_A1	Sensor integrado en la plataforma de la grúa del almacén de piezas plásticas. Si se encuentra activado indica que las horquillas se encuentran extendidas hacia el lado izquierdo.
SX_A1	Sensor integrado en el transelevador del almacén de piezas plásticas. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje X independientemente del sentido y se desactivará al llegar a una posición distinta de la que partió.
SZ_A1	Sensor integrado en el transelevador del almacén de piezas plásticas. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje Z independientemente del sentido y se desactivará al llegar a una posición distinta de la que partió.
SENSOR_CENTRAL_A2	Sensor integrado en la plataforma de la grúa del almacén de piezas metálicas. Si se encuentra activado indica que las horquillas se encuentran en su posición de reposo.
SENSOR_DER_A2	Sensor integrado en la plataforma de la grúa del almacén de piezas metálicas. Si se encuentra activado indica que las horquillas se encuentran extendidas hacia el lado derecho.
SENSOR_IZQ_A2	Sensor integrado en la plataforma de la grúa del almacén de piezas plásticas. Si se encuentra activado indica que las horquillas se encuentran extendidas hacia el lado izquierdo.
SX_A2	Sensor integrado en el transelevador del almacén de piezas plásticas. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje X independientemente del sentido y se desactivará al llegar a una posición distinta de la que partió.
SZ_A2	Sensor integrado en el transelevador del almacén de piezas plásticas. Este sensor permanecerá activo mientras se produzca movimiento del brazo en el eje Z independientemente del sentido y se desactivará al llegar a una posición distinta de la que partió.

En la *Figura 3-28* quedarán ubicados los diferentes sensores expuestos en la tabla anterior.

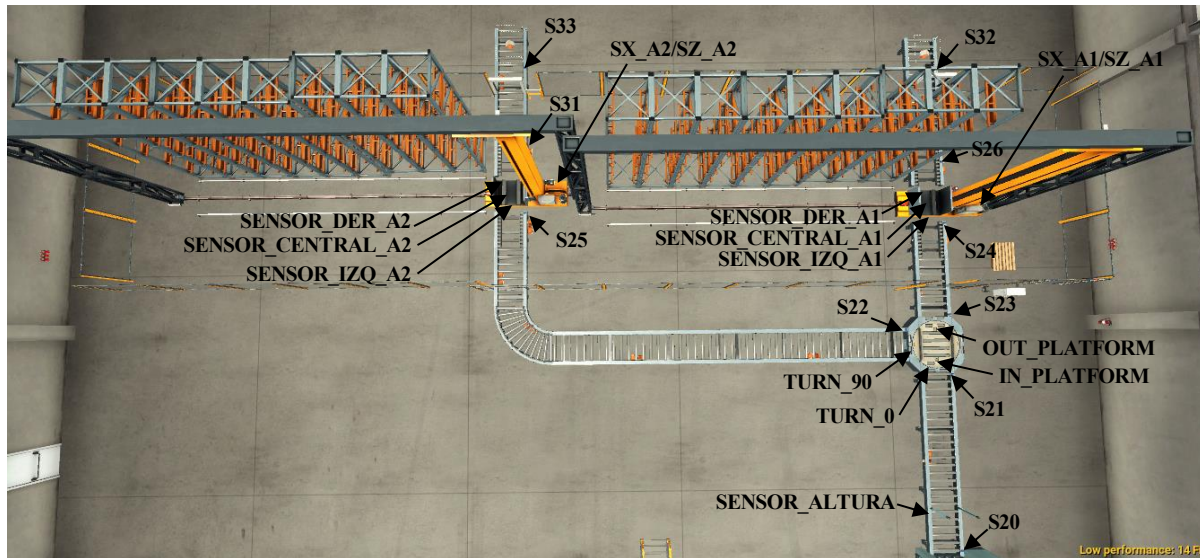


Figura 3-28: Ubicación en planta de los sensores de la estación de almacenaje.

Por último, se describirán los diferentes actuadores que componen la estación de almacenaje tal y como ha sido concebida. (véase *Tabla 3-14*)

Tabla 3-14: Actuadores de la estación de almacenaje

<i>Actuador</i>	<i>Descripción.</i>
ROLLER_2	Transportador de rodillos de 6 metros empleado para dirigir los palets que salen desde la paletizadora hacia la mesa giratoria, para que en ésta se escoja el camino hacia el almacén correspondiente.
ROLLER_3	Transportador de rodillos de 6 metros que junto al ROLLER_4 y ROLLER_5 conforman el camino hacia el almacén de piezas metálicas.
ROLLER_4	Transportador de rodillos de 6 metros que junto al ROLLER_3 y ROLLER_5 conforman el camino hacia el almacén de piezas metálicas.
ROLLER_5	Transportador de rodillos de 2 metros que junto al ROLLER_3 y ROLLER_4 conforman el camino hacia el almacén de piezas metálicas.
ROLLER_6	Transportador de rodillos de 2 metros que conforma el camino de los palets hacia el almacén de piezas plásticas.
CURVA_ROLLER	Transportador de rodillos curvo que se utiliza de unión entre el ROLLER_4 y ROLLER_5
ROLLER_CARGA1	Transportador de carga del almacén de piezas plásticas.

ROLLER_CARGA2	Transportador de carga del almacén de piezas metálicas.
ROLLER_DESCARGA1	Transportador de descarga del almacén de piezas plásticas.
ROLLER_DESCARGA2	Transportador de descarga del almacén de piezas metálicas.
ROLLER_SAL_ALM1	Transportador de rodillos de 4 metros situado justo después del transportador de descarga del almacén de piezas plásticas. Este transportador es el encargado de llevar los palets desde el almacén hasta el punto de recogida.
ROLLER_SAL_ALM2	Transportador de rodillos de 4 metros situado justo después del transportador de descarga del almacén de piezas metálicas. Este transportador es el encargado de llevar los palets desde el almacén hasta el punto de recogida.
ROLL_PLATFORM	Actuador que inicia el movimiento de los rodillos de la plataforma giratoria para introducir o sacar los palets de la misma.
TURN_PLAT	Este actuador producirá el giro de la plataforma 90 grados respecto de su posición de reposo.
POS_A1	Actuador que producirá el movimiento del transelevador del almacén de piezas plásticas en las direcciones X y Z. Al introducir el número de la posición, el transelevador conocerá directamente las distancias que debe de moverse en cada uno de los ejes.
ELEVADOR_A1	Elevador de la plataforma integrada en la grúa apiladora de palets. Se trata del elevador del almacén correspondiente a piezas plásticas y se utilizará para la carga y descarga de palets, tanto en los transportadores como en las guías de los estantes.
PALAS_DER_A1	Movimiento de la horquilla del almacén de plásticas hacia la derecha.
PALAS_IZQ_A1	Movimiento de la horquilla del almacén de plásticas hacia la izquierda.
POS_A2	Actuador que producirá el movimiento del transelevador del almacén de piezas metálicas en las direcciones X y Z. Al introducir el número de la posición, el transelevador conocerá directamente las distancias que debe de moverse en cada uno de los ejes.
ELEVADOR_A2	Elevador de la plataforma integrada en la grúa apiladora de palets. Se trata del elevador del almacén correspondiente a piezas plásticas y se utilizará para la carga y descarga de palets, tanto en los transportadores como en las guías de los estantes.
PALAS_DER_A2	Movimiento de la horquilla del almacén de plásticas hacia la derecha.
PALAS_IZQ_A2	Movimiento de la horquilla del almacén de plásticas hacia la izquierda.

PIEZA_AZUL	Pulsador ubicado en el cuadro de mandos de los almacenes para solicitar la salida de un palet que contenga piezas plásticas azules.
PIEZA_VERDE	Pulsador ubicado en el cuadro de mandos de los almacenes para solicitar la salida de un palet que contenga piezas plásticas verde.
PIEZA_GRIS	Pulsador ubicado en el cuadro de mandos de los almacenes para solicitar la salida de un palet que contenga piezas metálicas.
LLENO_AZUL	Luminoso que se activará cuando la parte del almacén de plásticas correspondiente a piezas azules se haya llenado.
LLENO_VERDE	Luminoso que se activará cuando la parte del almacén de plásticas correspondiente a piezas verde se haya llenado.
LLENO_GRIS	Luminoso que se activará cuando el almacén de piezas metálicas este completo.

Por ultimo, en la *Figura 3-29* y *3-30* se indica la posición de los diferentes actuadores que forman parte de la estación que se está analizando.

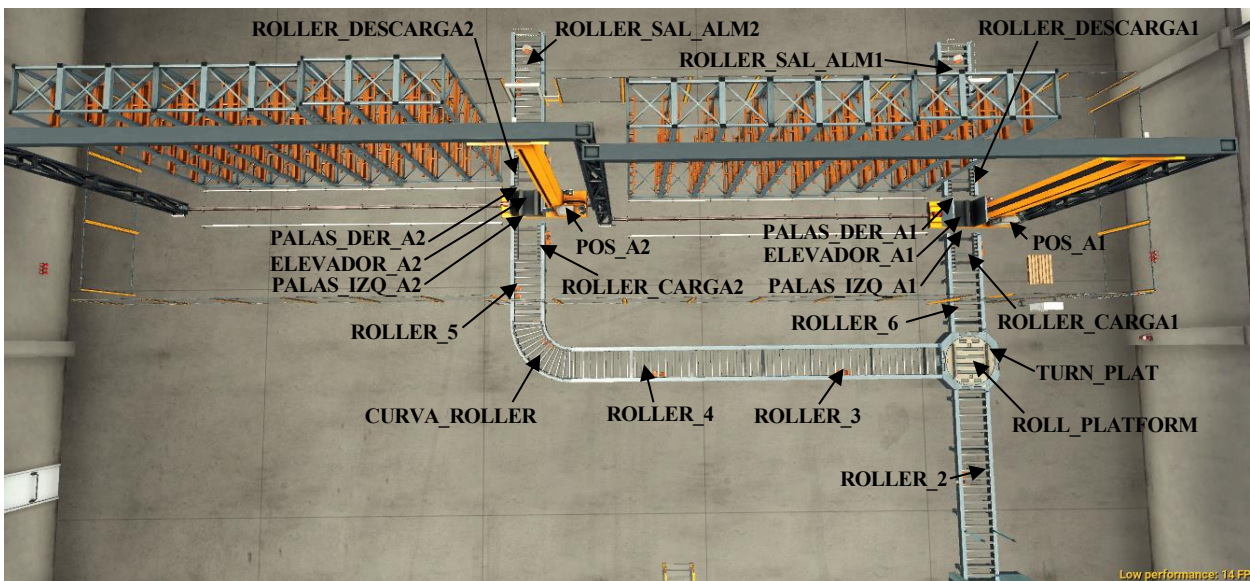


Figura 3-29: Ubicación en planta de los actuadores de la estación de almacenaje.

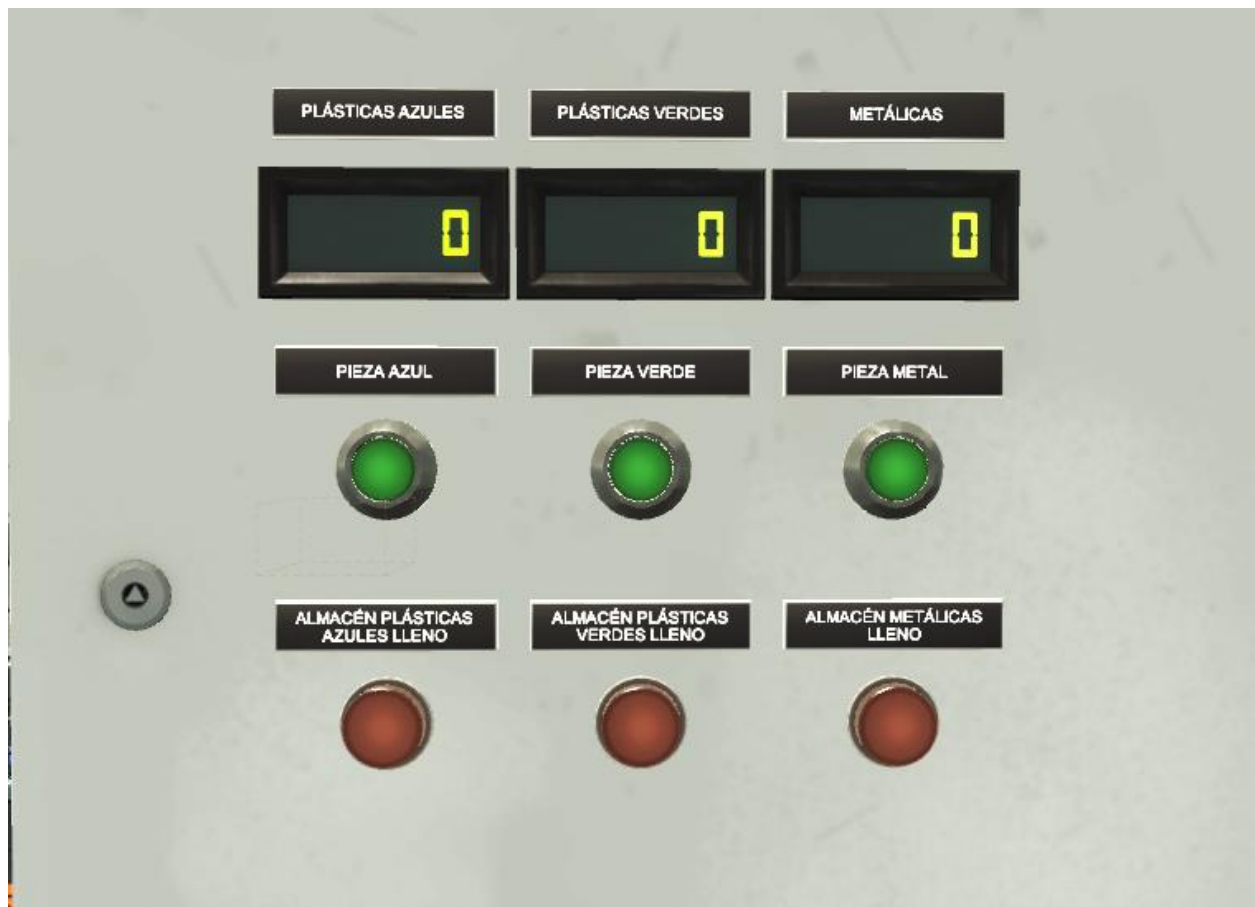


Figura 3-30: Cuadro de control de los almacenes.

3.2.8. Cuadro HMI.

El cuadro HMI es la interfaz de usuario o panel de control que conecta al operador con una máquina, sistema o dispositivo, en este caso, permite la comunicación entre el operador de la planta y las distintas estaciones que componen la planta en sí. El término HMI se ha generalizado, utilizándose casi en cualquier circunstancia en la que existen pantallas, sin embargo, tiene especial relevancia en los procesos industriales donde se controlan máquinas. [9]

HMI es la abreviatura inglesa de Human Machine Interface, traducido al castellano como Interfaz Hombre-Máquina.

El cuadro HMI que se emplea en la planta diseñada sólo permitirá seleccionar el modo de funcionamiento y ofrecerá una visión rápida del estado en el que se encuentra el proceso, es decir, mostrará mediante luminosos si el proceso se encuentra parado, activo o en una etapa de inicialización.

En la *Tabla 3-15* se muestran los distintos actuadores y señales que se podrán manipular u obtener respectivamente en el cuadro de mandos o cuadro de control.

Tabla 3-15: Controles del cuadro HMI de la planta

<i>Control</i>	<i>Descripción.</i>
AUTOMATICO	Posición izquierda del selector de 3 posiciones encargado de la elección del modo de funcionamiento.

MANUAL	Posición derecha del selector de 3 posiciones encargado de la elección del modo de funcionamiento.
LUZ_AUTOMATICO	Luminoso de color azul que indica que la planta opera según el modo automático.
LUZ_MANUAL	Luminoso de color azul que indica que la planta opera según el modo manual.
MARCHA	Pulsador verde que pondrá en funcionamiento la planta una vez esté seleccionado el modo automático.
PARO	Pulsador rojo que solicitará una parada ordenada o parada fin de ciclo dentro del modo automático.
PARO_EMERGENCIA	Seta de emergencia que parará toda la planta cuando exista algún fallo o defecto dentro de la misma.
REARME	Botón amarillo que permite realizar la inicialización o rearme del sistema cuando se produce una parada de emergencia o simplemente se quiere cambiar de modo de funcionamiento.
LUZ_VERDE	Señal luminosa de color verde que permanecerá activa mientras el proceso se desarrolle de forma normal.
LUZ_ROJA	Señal luminosa de color rojo que permanecerá encendida mientras la planta se encuentre parada.
LUZ_AMARILLA	Señal luminosa que permanecerá activa mientras se de el proceso de inicialización o rearme de la planta.
LUZ_EMERGENCIA1	Luminoso giratorio que estará funcionando mientras dure el estado de emergencia.
LUZ_EMERGENCIA2	Luminoso giratorio que estará funcionando mientras dure el estado de emergencia.
LUZ_EMERGENCIA3	Luminoso giratorio que estará funcionando mientras dure el estado de emergencia.
LUZ_EMERGENCIA4	Luminoso giratorio que estará funcionando mientras dure el estado de emergencia.
SIRENA	Señal acústica que se activará en el momento que se entre en el modo de emergencia.

En la *Figura 3-31* se puede observar los distintos elementos del cuadro HMI.



Figura 3-31: Operadores y señales del cuadro HMI de la planta

4 MODOS DE FUNCIONAMIENTO

En esta sección se detallarán los distintos modos de funcionamiento en los que puede operar la planta, según las necesidades de los usuarios que la manipulan. También se explicará la estructura del programa realizado para el control de la planta.

A medida que se fue creando la planta, el control de esta se fue dividiendo en distintas POU's de forma que fuera más sencillo abordar dicho control, y así de esta manera abordar el control de partes más pequeñas. Estas partes más pequeñas se relacionan con las condiciones lógicas impuestas por las especificaciones de funcionamiento. Cabe destacar que la división se ha realizado atendiendo a las partes que componen la planta y no con libre albedrío ya que esto no resultaría eficiente.

La división del control se ha realizado mediante las POU's que a continuación se detallan:

- PLC_PRG (ST): programa principal que se encarga de realizar la llamada al programa de control de la planta.
- PROGRAMA_CONTROL (SFC): esta POU conmuta los diferentes modos de funcionamiento y parada que posteriormente se detallarán.
- CINTAS_ALIMENTACION (ST): programa encargado de suministrar los tochos de material para la elaboración de tapas y bases, así como del control de las colas según los colores y materiales de los brutos que se van procesando. Debido a su relación, también se controlan los dos centros de mecanizado en esta POU.
- CINTA_BASES_ENS (LD): controla la activación y desactivación del camino de cintas transportadoras que conecta el centro de mecanizado que elabora bases con la estación de ensamblaje.
- CINTA_TAPAS_ENS (LD): igual que el anterior, controla la activación y desactivación de las cintas transportadoras que conectan el centro de mecanizado que procesa tapas con la estación de ensamblaje.
- ENSAMBLAJE (SFC): programa encargado de repetir la secuencia de movimientos de la ensambladora de dos ejes.
- CINTAS_QUIMICOS (LD): establece las condiciones de funcionamiento de la cinta de entrada y salida a la estación de tratamientos químicos.
- TANQUE (SFC): esta POU se encarga de controlar los períodos de llenado y descarga del tanque, así como del volumen de producto químico que arroja según el tipo pieza.
- CLASIFICADORA (SFC): programa que controla el pick and place de dos ejes que realiza la función de clasificadora.
- EMBALAJE (ST): controla la activación y desactivación de las cintas que conectan la clasificadora y la estación de embalaje. También controla las colas en función del orden de llegada a la estación y la cola de salida de cajas de la estación de embalaje.

- CINTAS_EMBALAJE (LD): programa que se encarga de la activación y desactivación de las distintas cintas que conforman el camino desde la salida de la estación de embalaje hasta la entrada de cajas en la paletizadora.
- PALETIZADORA (SFC): POU que controla los distintos movimientos que debe realizar la paletizadora o estación de paletizado.
- ROLLER_ALMACENES (LD): este subprograma se encargará de la activación y desactivación de los diferentes caminos de rodillos existentes entre la paletizadora y los almacenes de piezas plásticas y de piezas metálicas.
- GESTIÓN_ALMACENES (ST): programa encargado de manipular y gestionar los diferentes vectores necesarios para el correcto funcionamiento de los almacenes.
- ALMACEN_1 (SFC): esta POU se encarga de repetir los diferentes movimientos de la grúa del rack correspondientes a piezas plásticas, controlando tanto la entrada como salida del palets del almacén.
- ALMACEN_2 (SFC): realiza las mismas funciones que la POU anterior, pero siendo el control en este caso del almacén de piezas metálicas.
- RESET (ST): programa que reinicia todos los actuadores y variables internas necesarias para comenzar a operar la planta.
- INICIALIZACION (ST): programa encargado de llevar parte de la planta a su estado inicial.
- INICIALIZACION_ROLLER_1 (SFC): subprograma del programa anterior que establece la secuencia lógica de movimientos de los transportadores de rodillos que dirigen los palets hacia el exterior del almacén de piezas plásticas, para dejar dichos transportadores en su estado inicial.
- INICIALIZACION_ROLLER_2 (SFC): subprograma de la POU INICIALIZACION que establece la secuencia lógica de movimientos de los transportadores de rodillos que dirigen los palets hacia el exterior del almacén de piezas metálicas, para dejar dichos transportadores en su estado inicial.
- PARO (ST): programa que realiza el paro de todos los actuadores que en la planta intervienen.
- EMERGENCIA (LD): POU que establece la activación y desactivación de las señales pertinentes cuando la planta entra en un estado de emergencia como bien se comentará a continuación.
- CONTROL_AUTOMATICO (ST): programa que realiza la llamada a los programas anteriores correspondientes a partes de la planta, para así llevar a cabo el modo principal de funcionamiento.

Habiendo detallado la estructura del programa elaborado en CODESYS, se muestra a continuación, la jerarquía entre los programas y la conmutación entre los diferentes modos de funcionamiento y parada.

En la *Figura 4-1* se muestra la jerarquía de los distintos modos de funcionamiento y parada del control de la planta.

A continuación, se explicarán dichos modos de funcionamiento y parada, así como la forma de pasar de uno a otro modo. Cabe mencionar que tanto los modos de funcionamiento como de parada pertenecen a los modos habituales recogidos por la guía GEMMA.

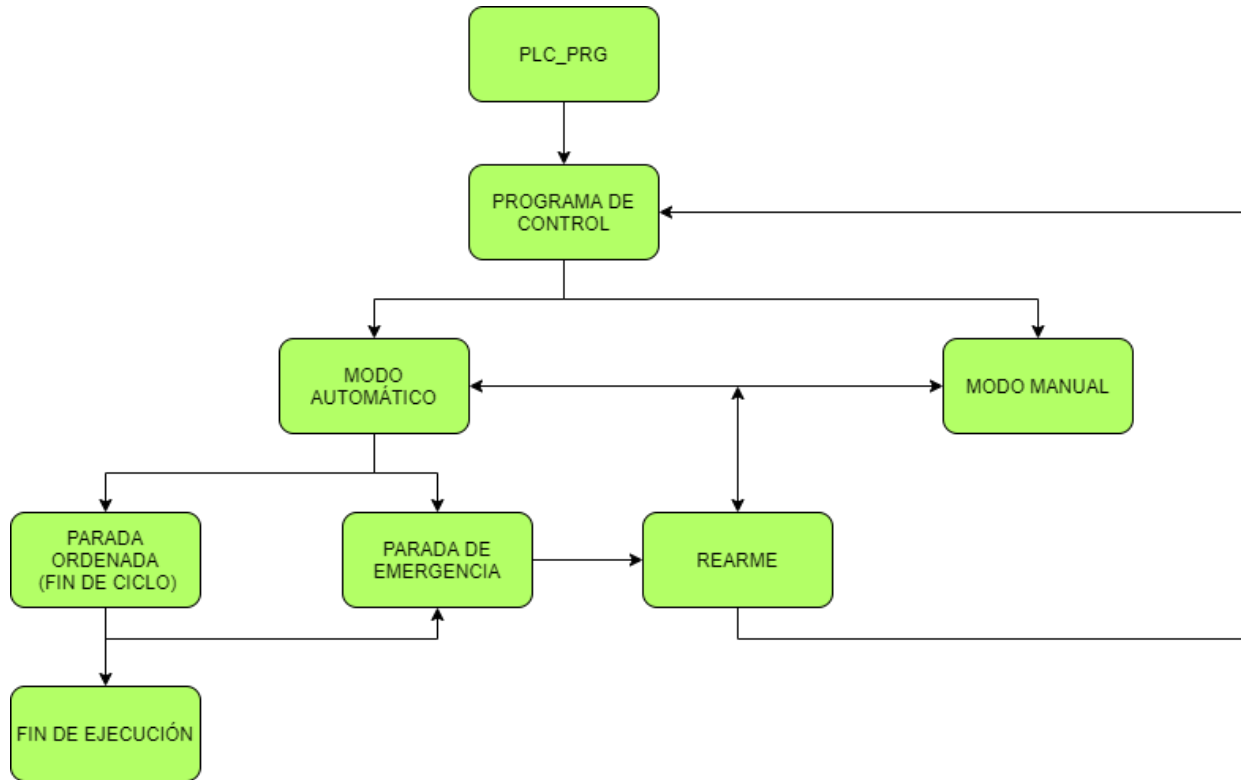


Figura 4-1: Control y jerarquía entre los diferentes modos de funcionamiento y parada.

4.1 Modo Automático.

El modo automático es el modo de producción estándar y principal para el que la planta se ha diseñado, en el que se emiten tochos de material de forma aleatoria, se procesan produciendo tapas y bases, posteriormente cada tapa se ensambla con su base correspondiente, a las piezas ya ensambladas se les somete a tratamientos químicos, se clasifican según el color y el material de las mismas, se embalan en diferentes cajas en función de la pieza de que se trate y finalmente se paletizan y se almacenan. Además, los palets salen del almacén correspondiente según los pedidos realizados externamente.

En el modo automático se realiza la llamada a las distintas POU's que se han comentado anteriormente y que se corresponden con alguno de los elementos de la planta, es decir, todas las que se han enumerado salvo las de control, reseteo e inicialización.

La activación de este modo conlleva la operación de la planta según las especificaciones explicadas en la sección 3 de este documento.

Una vez se carga el programa en el PLC, habrá que seleccionar "AUTOMÁTICO" en el selector y acto seguido pulsar el botón de "MARCHA", iniciando de esta forma el funcionamiento de la planta en modo automático.

4.2 Modo Manual.

Debido al elevado número de sensores y actuadores resulta inviable la implementación del modo manual puesto que la botonera resultante tendría unas dimensiones elevadas que no se pueden realizar, puesto que el número de variables máximas que es capaz de procesar FACTORY I/O son

256 y se han cubierto alrededor de 200 variables. Sin embargo, se aprovechará la posibilidad que ofrece FACTORY I/O de controlar manualmente la escena, implementando de esta forma el modo manual.

Por tanto, este modo no supondrá la elaboración de nuevas POU's, pero si que se implementará la conmutación con los diferentes estados del programa de control.

Una vez se carga el programa en el PLC, posicionando el selector en "MANUAL" se quedará la planta a la espera de ir activando y desactivando los distintos actuadores de forma manual.

Habiendo explicado los dos modos de funcionamiento se va a pasar a describir el modo de inicialización.

4.3 Modo Inicialización / Rearme.

El modo de inicialización o rearme es un modo de funcionamiento auxiliar. Este modo pretende llevar a la planta a su estado inicial, es decir, aquel estado en el que todas las cintas transportadoras y transportadores de rodillos están libres de piezas o palets respectivamente y las distintas estaciones se quedan desocupadas para poder iniciar el funcionamiento de nuevo.

Las operaciones que se llevan a cabo durante este modo de funcionamiento son las siguientes:

- En primer lugar, se elevan todas las barreras de posicionamiento, es decir, las barreras de posicionamiento de las tapas y de las bases en la estación de ensamblaje (**SUBIR_BARRERA** y **SUBIR_BARRERA2**) y la barrera de posicionamiento de la estación de clasificación de piezas terminadas. (**SUBIR_BARRERA3**).
- En segundo lugar, se activan las cintas de entrada de materiales crudos en el centro de mecanizados que fabrica bases (**CINTA_COMUN_ATRAS**) y en el centro de mecanizado que procesa tapas (**CINTA_TAPAS_ATRAS**), ambas en el sentido opuesto a las bahías de entrada de los centros de mecanizados. Las piezas que se encuentren en los diferentes centros de mecanizado en el momento que comienza la inicialización, acabarán de procesarse y el brazo robótico las depositará en la bahía de salida una vez finalizado el proceso.
- En tercer lugar, se activan las cintas transportadoras de unión entre el centro de mecanizado de tapas y la estación de ensamblaje (**C3**, **C4** y **CW**) donde se eliminarán las tapas que se encuentren en ella en el momento en el que se active el modo de inicialización.
- En cuarto lugar, se activarán las cintas transportadoras que componen el camino hasta el final de la cinta de entrada en la estación clasificadora de piezas terminadas (**C1**, **C2**, **CCW**, **CINTA_IN_QUIMICOS** y **CINTA_OUT_QUIMICOS**). De esta forma, las bases o piezas terminadas que se encontraran en alguna de dichas cintas en este momento, serán llevadas fuera de las mismas. Cabe destacar que las bases que existan, pasarán por la estación de ensamblaje y entrarán en la estación de tratamientos químicos. Para dar continuidad a toda la cinta, una vez que las piezas entran en la estación de químicos, irán siendo expulsadas a la última cinta mediante el pistón dispuesto para tal fin (**PUSH**). Mientras que el pistón permanece extendido, se pararán las cintas anteriores para que no se produzca una acumulación de piezas en la posición de chorreado del tanque, que el pistón no sea capaz de gestionar.
- En quinto lugar, se activarán las cintas individuales de clasificación de piezas terminadas. (**CINTA_CENTRAL**, **CINTA_DERECHA**, **CINTA_IZQUIERDA**).
- En sexto lugar, se activarán en sentido opuesto al funcionamiento normal, el camino formado

por las cintas transportadoras empleadas para el transporte de cajas entre la estación de embalaje y la paletizadora. (**CINTA_EMBALAJE_ATRAS**, **CINTA_INCLINADA_ATRAS** y **CINTA_PALLETS_ATRAS**).

- En séptimo lugar, se activará la cinta de la paletizadora encargada de introducir las cajas pero en esta ocasión en sentido opuesto al de entrada (**CAJAS_OUT**). Se abrirán las clapetas de sujeción (**SUJECCION_CAJAS**) y la compuerta de la paletizadora (**ABRIR_COMPUERTA**). Por último, se bajará la plataforma hasta su posición más baja (**ELEVADOR_BAJA** y **ELEVACION_MAXIMA**) y se activará la cadena de la plataforma en el sentido contrario al movimiento producido para la entrada de los palets (**CADENA_OUT**).
- En octavo lugar, se activará el camino de rodillos de 2 metros encargado de introducir palets a la paletizadora. En este caso, el sentido de transporte será el contrario al de funcionamiento normal (**ROLLER_1_ATRAS**). Esta acción persigue despejar la paletizadora de palets entrantes.
- En noveno lugar, se pasará a explicar la secuencia de movimientos para inicializar los caminos de rodillos. El primer movimiento será colocar la mesa giratoria en su posición de reposo (**TURN_PLAT**), de forma que aparecen dos caminos independientes: el primero desde la paletizadora hasta el primer almacén pasando por la mesa giratoria, y el segundo desde la mesa giratoria hasta el segundo almacén. El siguiente paso será reiniciar los almacenes, dejando el palet en su posición correspondiente en caso de que hubiera alguno en la grúa apiladora en el momento de comienzo de la inicialización. Una vez los almacenes se encuentren en su posición de reposo se activarán los caminos de rodillos de forma independiente (por un lado **ROLLER_2**, **ROLL_PLATFORM**, **ROLLER_6** y **ROLLER_CARGA1** y por el otro lado **ROLLER_3**, **ROLLER_4**, **ROLLER_5**, **CURVA_ROLLER** y **ROLLER_CARGA2**). Al llegar a la entrada de cualquiera de los almacenes, los caminos se pararán y la grúa apiladora realizará los movimientos necesarios para sacar el palet por la zona de descarga de pedidos, y así eliminarlos.

Cabe mencionar que los transportadores de rodillos de descarga se activarán al comienzo de la inicialización. (**ROLLER_DESCARGA1**, **ROLLER_DESCARGA2**, **ROLLER_SAL_ALM1** y **ROLLER_SAL_ALM2**).

- Por último, las válvulas de llenado y descarga del tanque (**LLENA_TANQUE** y **DESCARGA_TANQUE**) permanecerán cerradas, quedando el nivel del tanque en el nivel que estuviera en el momento del comienzo de la inicialización.

En una sección posterior se explicarán las vías de entrada y salida a este modo de funcionamiento auxiliar que como bien se ha comentado, lleva a la planta a su estado inicial.

4.4 Control y conmutación entre los distintos modos de funcionamiento.

En esta sección se describirá la forma de evolucionar de unos modos de funcionamiento a otros, así como la evolución a los diferentes modos de parada que se han dispuesto en la planta.

Una vez se carga el programa, se entra en una etapa de espera en la que se produce el reseteo de todas las variables internas necesarias para el buen funcionamiento de la planta, así como el reseteo de las variables encargadas directamente del control de los actuadores. También volverán al inicio todos los programas SFC para poderlos iniciar nuevamente. La forma de reiniciar programas en SFC difiere respecto a como se realizaba en la versión 2.3 de CODESYS. Para reiniciar programas SFC en CODESYS V3.5 SP16 Patch 2 se procederá de la siguiente forma:

- 1) Se activará la bandera o flag SFCReset de la POU realizada en lenguaje SFC. Para realizar esto, se situará el curso sobre el programa dentro del árbol de POU's, se hará clic derecho sobre él y se seleccionará la opción "Propiedades" de la lista desplegable. Dentro de dicho menú, se seleccionará a pestaña de "Configuración SFC" se desclicará la opción de "Utilizar valores predeterminados" y, por último, se hará clic en la bandera SFCReset. En la *Figura 4-2* se observa el paso comentado.

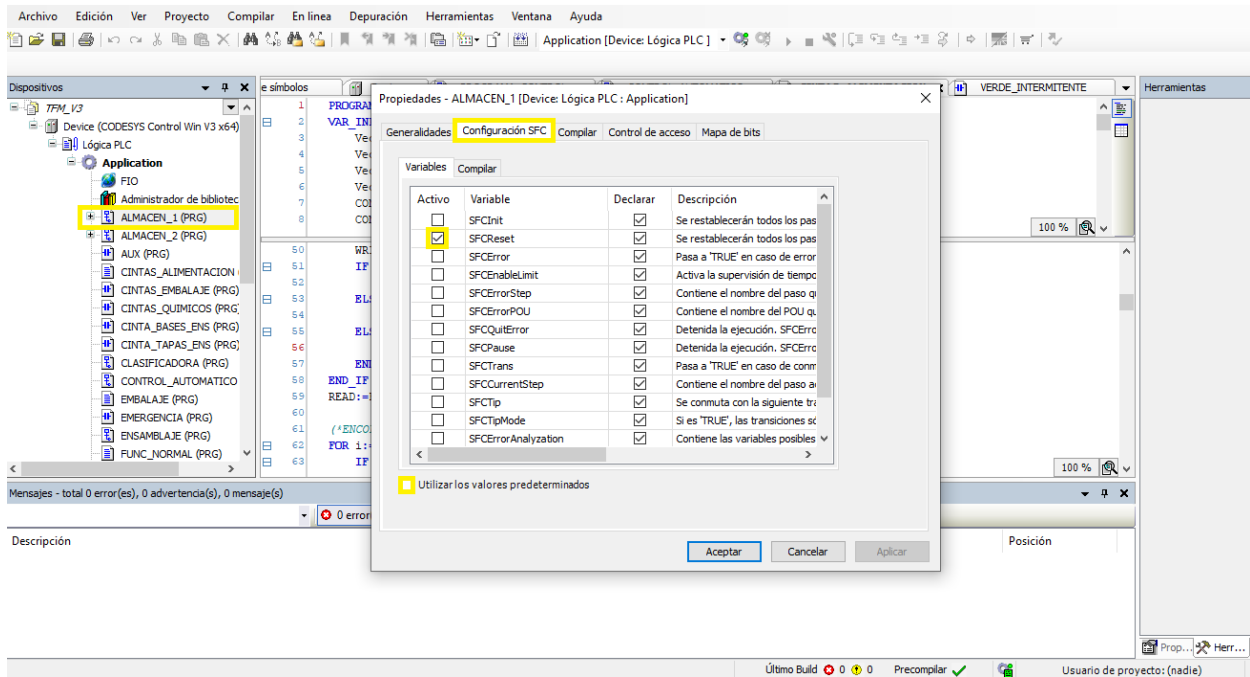


Figura 4-2: Activación de la bandera SFCReset.

- 2) Se declarará la variable SFCReset como variable interna dentro del programa que se quiera reiniciar como puede observarse en la *Figura 4-3*.

```

PROGRAM ALMACEN_1
VAR_INPUT
  SFCReset:BOOL;
END_VAR

VAR
  vector_alml:ARRAY[1..54] OF INT;
  vector_vecesl:ARRAY[1..54] OF INT;
  f: INT;

```

Figura 4-3: Declaración de la variable interna SFCReset.

- 3) Por último, en el programa utilizado para el reseteo se procederá a la inicialización del programa SFC. Si la variable SFCReset se pone a 1, el programa volverá a su etapa inicial.

Siguiendo con la explicación de la conmutación de los modos de funcionamiento, cabe mencionar que mientras la planta se encuentre parada, un luminoso rojo estará encendido en el panel de control.

En este instante se puede evolucionar directamente al modo manual o al modo automático según la posición que se elija en el selector de 3 posiciones dispuesto para tal fin. El selector dispone de una posición neutra o de reposo situada en el centro, a la izquierda la selección del modo automático y a la derecha la selección del modo manual. Se comenzará por explicar la transición al modo automático por ser este el modo principal para el que la planta ha sido diseñada.

Al colocar el selector en la posición de la izquierda, se pasará al modo automático, lo cual se identificará gracias al encendido de un luminoso en el panel de control. Aunque la planta se encuentre en modo automático, para que se inicie el funcionamiento de esta, será necesario pulsar el botón de marcha. Acto seguido se iniciará la entrada de materiales crudos a la planta. En el momento en el que se inicie el funcionamiento normal de la planta se activará un luminoso verde que indicará que la planta está en movimiento.

Mientras la planta se encuentre operando de forma automática, podrá evolucionar a tres estados diferentes según las circunstancias o las necesidades de los usuarios que operan la planta. Los tres estados a los que puede evolucionar la planta son los que a continuación se describen:

- Parada de emergencia: cuando un operario detecte alguna deficiencia en el proceso deberá solicitar la parada de emergencia, pasando de esta forma a un estado de emergencia. Para pasar al estado de emergencia bastará con abrir el circuito mediante el enclavamiento de la seta de emergencia.

Al enclavar la seta, todos los actuadores de la planta se pararán. Además, se activarán señales luminosas rotativas de emergencia en toda la planta y una sirena que indicará que la planta se encuentra parada por una deficiencia en el proceso. Por otra parte, los tres luminosos que indican la marcha (verde), el paro (rojo) y el rearme (amarillo), se irán activando y desactivando de manera que formen una banda horizontal de luminosos que se vayan activando consecutivamente de izquierda a derecha y desactivando de derecha a izquierda.

Una vez que el problema haya sido resuelto, la planta podrá seguir operando, sin embargo, debe inicializarse y quedar en su estado inicial. Para ello, se desenclavará la seta de emergencia, se colocará el selector de modos en su posición neutra y acto seguido se pulsará el botón de rearme. En este instante, comienza la inicialización siguiendo las especificaciones previamente explicadas. Una vez que el operario observe que todas las cintas están libres, pulsará el botón de marcha para finalizar el rearme. En este momento, la planta quedará parada en su estado inicial a la espera de recibir nuevas órdenes.

- Parada ordenada: la parada ordenada equivale a una parada fin de ciclo, es decir, la planta procesará las distintas piezas o paquetes que se encuentren encima de las cintas transportadoras o transportadores de rodillos, para que una vez hayan sido procesadas, la planta pare. Todos los actuadores pasan a encontrarse inactivos.

Esta parada es muy necesaria puesto que los operarios podrán abandonar su puesto de trabajo al final de la jornada con seguridad.

En el caso de la planta que se aborda, no se dejarán de emitir brutos inmediatamente después de pulsar el botón de paro, sino que, por las especificaciones de la planta, se emitirán hasta el múltiplo de tres más cercano, es decir, si en el momento en el que se produce el paro son 4 piezas las que circulan por la planta, se dejará de emitir materiales crudos cuando se alcance un número de 6.

Para que se produzca la parada fin de ciclo, el operario deberá pulsar el botón de paro dispuesto en el panel de control. En ese instante, el luminoso de color verde comenzará a parpadear. En el momento en el que todas las piezas hayan sido procesadas, la planta parará y se activará el luminoso rojo, desactivando de esta forma el verde.

Cuando se vuelva a pulsar el botón de marcha, la planta volverá a reactivarse y seguirá funcionando automáticamente según las especificaciones para las que fue diseñada.

Por otra parte, mientras se finaliza de procesar todas las piezas, la planta puede evolucionar al estado de emergencia si fuera necesario. En ese caso se produciría la misma secuencia que la explicada anteriormente para la parada de emergencia.

- Modo manual: por último, la planta puede evolucionar al modo manual. Antes de evolucionar a dicho modo debe inicializarse para comenzar en su estado inicial.

Si la planta se encuentra en modo automático y se quiere evolucionar al modo manual bastará con cambiar el selector de posición, pasando este al lado derecho. En este momento, comenzará la inicialización. De igual forma que ocurría en el rearme para el estado de emergencia, cuando el operario visualice todas las cintas libres, pulsará el botón de marcha pasando ya directamente al modo manual.

En este modo se activará un luminoso que indique que es el modo manual en el que se encuentra la planta y de nuevo el luminoso verde que indique que la planta se encuentra en funcionamiento.

Habiendo explicado los posibles estados a los que puede transicionar la planta cuando permanece en modo automático, a continuación, se va a explicar las evoluciones del modo manual.

Existen dos formas de llegar al modo manual. La primera es al inicio cuando se carga el programa y se encuentra la planta en espera de recibir órdenes. En ese instante, si se coloca el selector en el lado derecho, se entrará en el modo manual y se podrá utilizar la funcionalidad de FACTORY I/O para controlar la escena de forma manual.

La segunda forma es la que se explicó anteriormente, es decir, cuando la planta se encuentra en modo automático y se cambia el selector de posición.

De igual forma, estando en el modo manual se puede transicionar al modo automático, pero pasando previamente por la inicialización de la planta.

Con esto quedarían explicados tanto los modos de funcionamiento y parada como la evolución entre modos.

5 DESARROLLO DEL SCADA

Un SCADA, como bien se comentó anteriormente, es un sistema que permite la supervisión y el control de cualquier aplicación industrial, proporcionando fundamentalmente información gráfica que permita de una forma sencilla conocer el estado de cada una de las máquinas y procesos que conforman dicha aplicación. La palabra SCADA no es más que el acrónimo de “Supervisory Control and Data Acquisition” quedando claro, por tanto, que las principales funciones de cualquier SCADA van a ser las de supervisión, control y también la adquisición de datos procedentes de la aplicación industrial a la que se aplique dicho sistema. [8]

El principal objetivo de la incorporación del SCADA en este trabajo no es tanto la realización de un sistema muy completo y complejo capaz de recoger todos los sistemas de la planta, sino realizar la comunicación a través del servidor OPC y ser capaces de identificar el correcto funcionamiento de las pantallas gráficas creadas, en función del comportamiento del sistema representado en dicha pantalla.

En el caso que se aborda, se realizarán varias pantallas gráficas, cada una de las cuales representarán una zona de la planta. Dado que resulta imposible abarcar todas las funciones que ofrece Citect Scada, en el conjunto de las pantallas realizadas se intentará recoger al menos las funciones más comunes en cualquier SCADA disponible en la industria actual.

La primera pantalla gráfica que se creó fue la relativa a la estación de mecanizado y rechazo de crudos en el caso de que los almacenes se encuentren completos. En la *Figura 5-1* se muestra la pantalla gráfica que permitirá supervisar la alimentación de tochos y el funcionamiento de los centros de mecanizado.

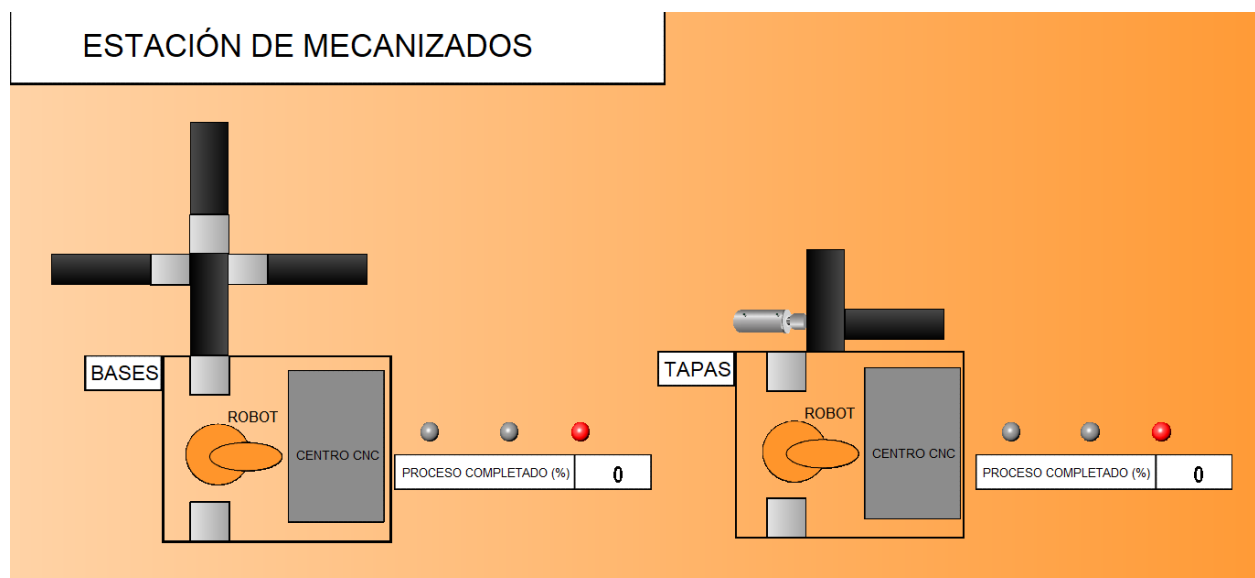


Figura 5-1: Pantalla gráfica de los centros de mecanizado (SCADA)

Como se puede observar, la pantalla anterior se corresponde con la vista en planta de los centros de mecanizado y las cintas de alimentación de brutos. Esta pantalla permitirá conocer el estado de las cintas en cada momento, también el estado de cada uno de los centros de mecanizado y, por último, la actuación del cilindro utilizado para el rechazo de piezas.

En el caso de las cintas individuales de brutos para la alimentación al centro de mecanizado encargado de fabricar bases, cuando se activen cada una de ellas, pasarán a representarse del color del bruto que suministran, es decir, la cinta izquierda se pondrá azul, la cinta central se pondrá gris y la cinta derecha en verde.

Por su parte, el resto de las cintas (cinta común para alimentación de brutos al centro de bases, cinta de alimentación de brutos al centro de tapas y cinta de rechazo de brutos) se representarán en color verde cuando estén activas, permaneciendo de color negro en caso contrario.

En cuanto a los centros de mecanizado se refiere, se realizará la supervisión a través de los tres luminosos y un display que mostrará el porcentaje del proceso que lleva completado el centro de mecanizado correspondiente. El led situado a la derecha de cada uno de los centros de mecanizado indicará el espacio de tiempo en el que el centro de mecanizado propiamente dicho está realizando operaciones de corte (permanecerá encendido en color verde). En segundo lugar, el led central indicará si el conjunto robot-centro de mecanizado están ocupados (permanecerá encendido en amarillo). Por último, el led de la izquierda permanecerá encendido (rojo) mientras que cada una de las estaciones se encuentren paradas. Además, como ya se ha comentado, el display irá actualizando el valor del porcentaje completado del proceso de fabricación de una base o una tapa.

Por último, también se ha representado el pistón encargado de sacar del proceso los tochos que si se procesan no cabrían en los almacenes por estar estos ya llenos. Si el cilindro se extiende, en la pantalla gráfica también se extenderá y pasará a color verde para visualizar fácilmente que está activo.

La siguiente pantalla que se ha decidido crear es la referente a la estación de tratamientos químicos y el proceso de chorreado de piezas ya ensambladas. En la *Figura 5-2* se muestra la pantalla gráfica en la que se observa el tanque de producto químico, las válvulas y las cintas de entrada y salida entre otros.



Figura 5-2: Pantalla gráfica de la estación de tratamiento químico (SCADA)

Gracias a la pantalla gráfica anterior se podrá supervisar el nivel del tanque, elemento principal de

esta estación, también se podrán supervisar y controlar los caudales de llenado y descarga del tanque, así como la activación y desactivación de las cintas de entrada y salida de piezas de la estación. A continuación, se detallarán cada uno de los elementos que aparece en la pantalla.

En primer lugar, como protagonista de la escena aparece un tanque cilíndrico en una posición centrada. A dicho tanque se le han añadido los siguientes elementos:

- Indicador de nivel: se trata del rectángulo situado en el interior del tanque. A medida que el nivel del tanque va subiendo, este indicador irá subiendo con el color del producto químico, como si fuera transparente y se pudiera ver el contenido de dicho tanque.
- Válvula y tubería de descarga: la válvula y la tubería de descarga cambiarán de color en la pantalla cuando se produzca la apertura de esta. La válvula pasará a ser de color verde mientras se encuentre parcial o completamente abierta y la tubería se llenará del líquido con su correspondiente color.
- Válvula y tubería de llenado: la tubería y válvula de llenado tendrán el mismo comportamiento que las de descarga. En esta ocasión, aunque no aparece en la planta creada en FACTORY I/O, se ha añadido un depósito de capacidad infinita que proporciona el producto químico al tanque cuando éste lo requiera. También se ha añadido un agitador y la bomba hidráulica encargada de realizar el trasvase del depósito al tanque. Se ha decidido añadir esta parte en la pantalla gráfica con el fin de sacarle partido a una de las funcionalidades más vistosas de Citect Scada, las animaciones.

Cuando el tanque requiera producto químico, la bomba comenzará a impulsar líquido (pasa a color verde mientras permanece activa) y simultáneamente se abrirá la válvula de llenado, pasando también a color verde. En ese mismo instante, la tubería se llenará de líquido y el agitador comenzará a girar, girando la parte de la hélice y poniéndose en verde todo el conjunto.

En segundo lugar, en la parte izquierda de la pantalla aparecen los marcadores que permitirán conocer en cada instante el nivel del tanque en litros, y los caudales de llenado y descarga en el caso de que alguna de las válvulas se encuentre abierta total o parcialmente. De la misma forma, las barras verticales situadas justo debajo de los marcadores permiten visualizar fácilmente el porcentaje de apertura de cada una de las válvulas. Por último, cabe mencionar que desde la pantalla gráfica del SCADA se podrá controlar los caudales de entrada y salida del tanque, para ello bastará con hacer clic sobre el valor numérico e ingresar un número comprendido entre el 0 (totalmente cerrada) y 10 (totalmente abierta)

En último lugar, se describirá el comportamiento de los tres elementos que faltan por explicar, es decir, las dos cintas y el elemento central que aparece en la pantalla. El elemento central no tiene ninguna funcionalidad, simplemente simulará el soporte necesario para depositar las piezas sin que se caigan. En el momento en el que una pieza se encuentre en la posición para ser chorreada, en la pantalla gráfica aparecerá sobre este elemento central un rectángulo que indique que una pieza está siendo chorreada. De manera parecida, las cintas que aparecen pasarán a color verde mientras permanezcan activas las cintas de entrada y salida de la estación respectivamente. Con esta descripción quedaría correctamente definida la pantalla gráfica referente a la estación de tratamientos químicos.

La siguiente pantalla que se diseñó fue la del almacén de piezas plásticas (véase Figura 5-3). Mediante esta pantalla se podrá visualizar fácilmente el estado en el que se encuentra el almacén, pudiendo observar el número de palets referentes a piezas plásticas azules y a piezas plásticas verdes. Además, se incorpora la lista de pedidos, siendo este el orden en el que la grúa apiladora irá extrayendo los palets del almacén.

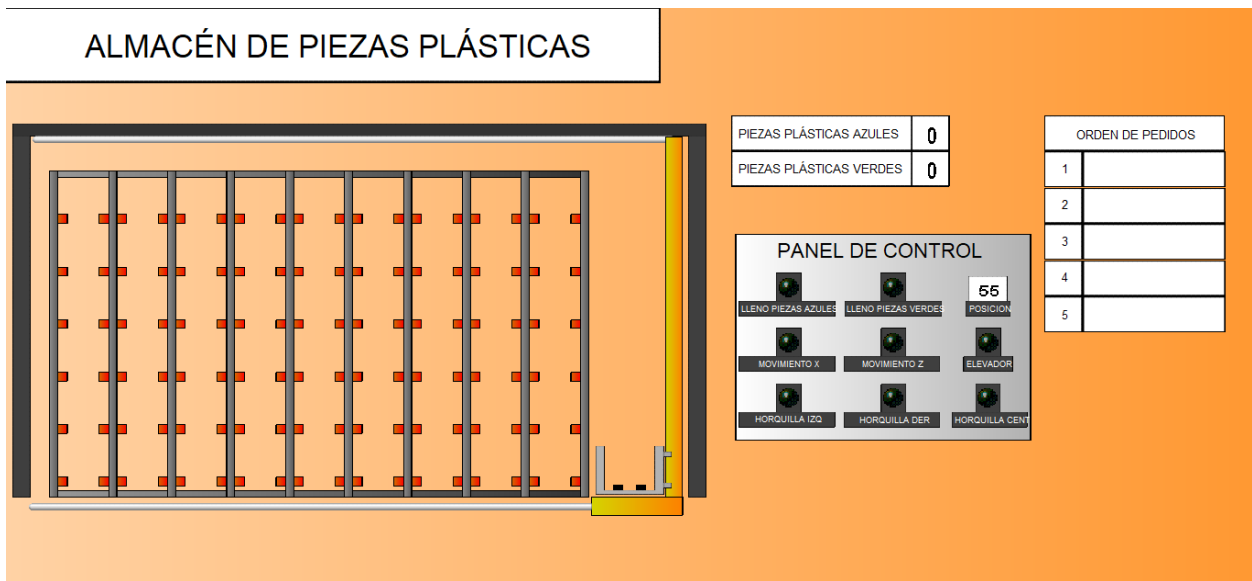


Figura 5-3: Pantalla gráfica del almacén de piezas plásticas (SCADA).

En el gráfico del almacén irá apareciendo un icono, que simula el palet con las cajas, en cada una de las posiciones que se vayan ocupando. De la misma forma, si en un futuro el palet situado en dicha posición se extrae del almacén, el icono desaparecerá, dejando ver que esa posición queda libre para una nueva entrada. En la *Figura 5-4* se muestran los iconos que aparecen cuando se introducen piezas plásticas azules y piezas plásticas verdes respectivamente.

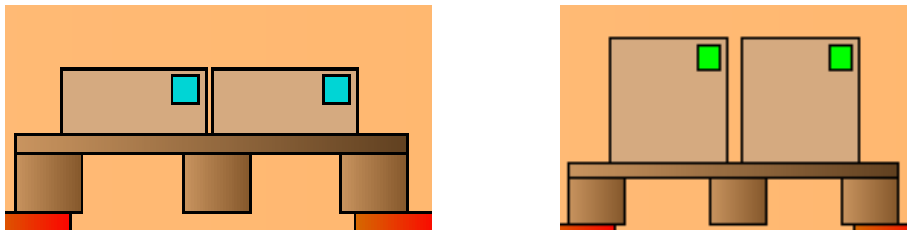


Figura 5-4: Iconos gráficos para entradas en el almacén de pieza plásticas (SCADA)

Además del grafico del almacén, aparecen contadores para las piezas azules y para las piezas verdes, los cuales se irán actualizando conforme se produzcan entradas o salidas de piezas al almacén y permitirán tener presente siempre el stock de piezas.

Otro elemento importante dentro de la pantalla es el listado de pedidos, es decir, las piezas que se solicitan que salgan del almacén. Mediante este listado, se podrá saber en todo momento el orden de los palets que deben salir del almacén. Se podrá observar el orden de los cinco primeros pedidos, en caso de haber más, el listado se irá actualizando conforme se vayan produciendo las salidas del almacén.

Por último, se incluye un panel de control que recoge las principales señales que permiten supervisar el correcto funcionamiento de la grúa apiladora del almacén. Por un lado, se encuentran los leds que se activan en rojo cuando la parte correspondiente del almacén que monitorizan pasa a estar llena. Además, se puede observar un pequeño display que muestra la posición en la que se encuentra la grúa en cada momento, siendo la posición 55 la de reposo. También se monitorizarán los movimientos de los almacenes mediante dos leds verdes que se encenderán de forma intermitente cuando la grúa apiladora se mueve en la dirección correspondiente y apagados en caso contrario. El

resto de los leds se encenderán cuando se produzca la activación de los actuadores que controlan (posición de la horquilla y elevador).

Con esta breve descripción quedan recogidas las especificaciones de funcionamiento de la pantalla gráfica correspondiente al almacén de piezas plásticas. A continuación, se explicará la siguiente pantalla que se corresponde con el otro almacén, el almacén de piezas metálicas.

La última pantalla creada fue la correspondiente al almacén de piezas metálicas, con el fin de controlar fácilmente desde una pantalla el estado de dicho almacén. En la *Figura 5-5* se observa que la pantalla gráfica creada para el almacén de piezas metálicas sigue la misma estructura que la que se ha explicado anteriormente para el almacén de piezas plásticas.

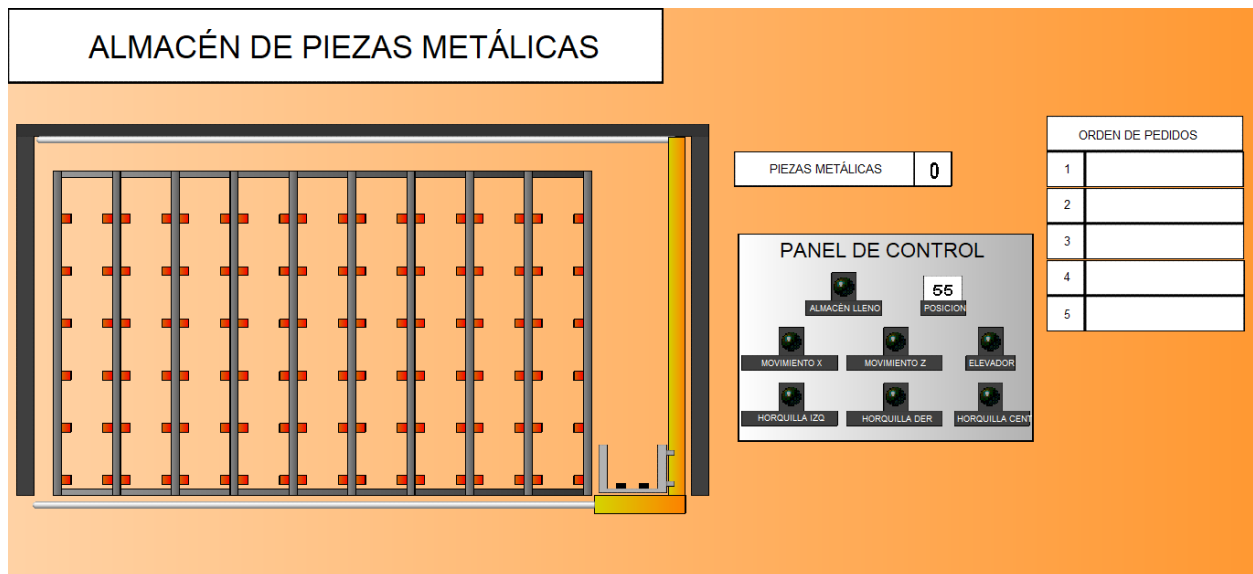


Figura 5-5: Pantalla gráfica del almacén de piezas metálicas (SCADA).

Los principios de funcionamiento de la pantalla anterior son los mismos que para la pantalla del almacén de piezas plásticas, con la salvedad que en este caso sólo es posible la entrada de un tipo de piezas, siendo el icono que aparece en dicho caso el que se muestra en la *Figura 5-6*.

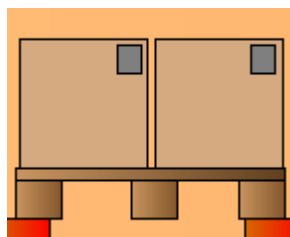


Figura 5-6: Icono gráfico para entradas en el almacén de pieza metálicas (SCADA)

El resto de los elementos que aparecen en la pantalla (panel de control y lista de pedidos) siguen el mismo funcionamiento que el explicado para el otro almacén, por tanto, no se repetirá con el objetivo de no aburrir al lector.

Habiendo descrito cada una de las pantallas realizadas, se observa la importancia que tiene un SCADA a la hora de supervisar y controlar el buen funcionamiento de una aplicación industrial. Por otra parte, se muestra la flexibilidad que posee al poder incluir varias pantallas dentro de un monitor, de forma que con una simple visual se pueda verificar que todos los procesos, estaciones y maquinas están funcionando de acuerdo con las especificaciones para los que la planta o aplicación industrial fueron diseñados.

6 CONCLUSIONES

Tras el desarrollo del presente Trabajo Fin de Máster, se extraen una serie de conclusiones que se pasan a detallar:

- La primera conclusión que se extrae es la mejora de la capacidad de FACTORY I/O respecto a versiones anteriores. Mientras que en las versiones anteriores FACTORY I/O sólo era capaz de procesar 128 variables [1], en la actualidad permite un máximo de 256, incrementando notablemente las capacidades de diseño del programa. Cabe decir, que para la planta diseñada han sobrado todavía unas 50 variables de las que se podría hacer uso para una futura ampliación del trabajo.
- Como segunda conclusión se extrae la existencia de retrasos entre el funcionamiento de la planta en FACTORY I/O y el programa en CODESYS. Cuando se comienzan a producir dichos retrasos, aparece el indicador de bajo rendimiento (low performance) en la esquina inferior derecha de FACTORY I/O, no pudiendo actualizar la simulación por encima de los 15 fotogramas por segundo. Estos retrasos no solo llevan a contratiempos visuales sino también a errores de cálculos físicos, siendo por ejemplo imposible, establecer igualdades en las transiciones de los programas SFC y ST para variables continuas como el nivel del tanque.
Este hecho resulta más limitante cuánto mayor es la escena diseñada. Por tanto, para buscar un funcionamiento aceptable se deberá llegar a un convenio en el tamaño de la escena.
- Se extrae la importancia que tiene la comunicación en la industria a través de un servidor OPC y lo sencillo que resulta en este caso la conexión entre los programas empleados en el desarrollo del proyecto. Tras extraer esta conclusión, se hace hincapié en lo que ya se comentó en el apartado introductorio, es decir, la posibilidad de sustituir el proyecto actual que tiene la asignatura de “Automatización y Control de Sistemas Productivos” que se realiza íntegramente con CODESYS V2.3 por un proyecto con CODESYS y FACTORY I/O donde se ponga en valor la importancia de la comunicación vía OPC.

Habiendo obtenido las conclusiones anteriores, a continuación, se muestran unas conclusiones adicionales más orientadas al aprendizaje conseguido a lo largo de este proyecto:

- Adentrarse en un proyecto de estas características, me ha permitido tener una visión más amplia de la importancia que tiene la automatización en la industria actual y como cada año la presencia de la automatización en la industria y en otros sectores seguirá incrementándose.
- El trabajo con CODESYS ha permitido incrementar mis conocimientos en programación de PLCs en los diferentes lenguajes que el programa ofrece. Se pone de manifiesto la importancia de resetear las variables y los programas con memoria si queremos obtener un correcto funcionamiento de la aplicación que se esté automatizando.
- Por otra parte, a lo largo de estos meses de intenso trabajo, se ha conseguido depurar bastante el código inicial siendo capaz de solventar esos retrasos antes comentados y consiguiendo así un funcionamiento bastante fluido de la planta.

Por último, en el siguiente apartado se comentarán futuras posibles líneas de trabajo.

6.1 Futuras líneas de trabajo.

En esta sección, se finalizará describiendo futuras líneas de trabajo que podrían implementarse tomando como referencia el alcance del presente proyecto. Las principales futuras líneas de trabajo que se extraen son las siguientes:

- Redistribuir la planta de forma que permita agilizar los procesos, ya que el cuello de botella reside en los tiempos empleador por los centros de mecanizado. Si se consigue añadiendo o eliminando etapas hacer el proceso más ágil supondría un aumento de la productividad de la planta.
- Dado que el número de variables que es capaz de procesar FACTORY I/O es 256 y las variables utilizadas en este proyecto son en torno a 190, se podrían añadir estaciones nuevas hasta completar el total de variables que permite el software.
- Indagar e implementar todas las funciones posibles que ofrece el SCADA de Citect, así como elaborar nuevas pantallas gráficas que recojan el estado de todas las estaciones de la planta.
- Elaborar soluciones de transporte diferentes a las actuales, buscando su optimización.

7 REFERENCIAS

- [1] Marín Sánchez, J. (2018). *Diseño de un sistema de control distribuido usando Factory IO y Codesys V3 (communication through OPC)*. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- [2] Romero Prada, J. (2018). *Automatización de una planta de almacenaje y distribución de mercancías usando Factory I/O y Codesys*. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- [3] Real Games, «Next-Gen PLC Training Software with FACTORY I/O» (2021). *Configuración de CODESYS OPC UA*. Documentación de Factory IO. Recuperado el 15 de abril de 2021 de <https://docs.factoryio.com/tutorials/codesys/setting-up-codesys-opc-ua/index.html>
- [4] Real Games, «Next-Gen PLC Training Software with FACTORY I/O» (2021). *Partes*. Documentación de Factory IO. Recuperado el 1 de mayo de 2021 de <https://docs.factoryio.com/manual/parts/>
- [5] Real Games, «Next-Gen PLC Training Software with FACTORY I/O» (2021). *Comenzando*. Documentación de Factory IO. Recuperado el 1 de mayo de 2021 de <https://docs.factoryio.com/getting-started/>
- [6] Logitek Team (8 de mayo de 2019). *Qué es OPC y qué es un OPC Server*. Recuperado el 5 de mayo de 2021 de <https://www.kepserverexopc.com/que-es-opc-y-que-es-un-opc-server/>
- [7] Matrikon, «Matrikon». *¿Qué es un Servidor OPC?* Recuperado el 5 de mayo de 2021 de <https://www.matrikonopc.es/opc-servidor/index.aspx>
- [8] Sothis, «Sothis». *SCADA. ¿Qué es y qué permite hacer?* Recuperado el 15 de mayo de 2021 de <https://www.sothis.tech/scada-que-es-y-que-permite-hacer/>
- [9] Aula 21, Centro de formación técnica para la industria. *Qué es un HMI: para qué sirve la Interfaz Hombre-Máquina*. Recuperado el 15 de mayo de 2021 de <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/#:~:text=Un%20sistema%20HMI%20es%20una,una%20m%C3%A1quina%2C%20sistema%20o%20dispositivo.&text=En%20resumen%2C%20la%20interfaz%20HMI,recibir%20respuesta%20sobre%20esas%20acciones.>
- [10] Instituto Schneider Electric de Formación (agosto 2007). *Vijeo Citect.Anexos*. (PDF). Schneider Electric.
- [11] Instituto Schneider Electric de Formación (agosto 2007). *Vijeo CitectCurso* (PDF). Schneider Electric.

[12] Codesys, «CODESYS-industrial IEC 61131-3 PLC programming,» (2021). *CODESYS Runtime*. Recuperado el 5 de abril de 2021 de <https://www.codesys.com/products/codesys-runtime.html>

