

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Desarrollo de Ejercicios Didácticos para Autómatas
Programables usando Codesys.

Autor: Gonzalo López de Ayala Velasco

Tutor: Miguel Ángel Ridao Carlini

**Dep. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Desarrollo de Ejercicios Didácticos para Autómatas Programables usando Codesys.

Autor:

Gonzalo López de Ayala Velasco

Tutor:

Miguel Ángel Ridaó Carlini

Profesor titular

Dep. Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Trabajo Fin de Grado: Desarrollo de Ejercicios Didácticos para Autómatas Programables usando Codesys.

Autor: Gonzalo López de Ayala Velasco.

Tutor: Miguel Ángel Ridao Carlini.

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Tras estos cinco años de duro trabajo, mucho aprender y disfrutar de la vida, ya toca a su fin esta etapa de la vida, y para todas aquellas personas que han estado ahí para apoyarme, como lo son toda mi familia, y a mi tutor que me ha ayudado para realizar este Trabajo de Fin de Grado, darles las gracias por apoyarme a seguir hacia adelante en el camino y no desistir en el intento.

Gonzalo López de Ayala Velasco

Estudiante del Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Sevilla, 2017

Resumen

Las aplicaciones de la Automática son enormemente diversas: industriales, comerciales, médicas, militares, investigación básica, investigación aplicada, etc. las cuales han hecho de la Ingeniería de Control una materia científica y tecnológica imprescindible hoy en día. La Automatización de Sistemas y la Robótica permite dar una respuesta global en la Automatización de Procesos Industriales, ya que entendida en sentido amplio, va desde robots manipuladores a robots humanoides, pasando por robots móviles, comportamiento cognitivo y aprendizaje, robots aéreos y submarinos, robots asistenciales y médicos.

En este TFG se va a desarrollar tres ejercicios de automatización de plantas industriales para ejercicios didácticos, desde un Control de Nivel hasta el control de un almacén automatizado en los que se pondrá en práctica todo lo aprendido en asignaturas como Automatización Industrial y Control Automático.

Agradecimientos	ixx
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
Notación	¡Error! Marcador no definido.
1 Objeto	¡Error! Marcador no definido.
2 Alcance	3
3 Requisitos de Diseño	5
4 Análisis de Soluciones	7
4.1. <i>Sorting by Weight</i>	7
4.2. <i>Control de Nivel</i>	7
4.3. <i>Almacén Automatizado</i>	7
5 Integración de Factory I/O con CODESYS	9
5.1. <i>Factory I/O</i>	9
5.1.1. Integración del Factory I/O con CODESYS	9
5.1.2. Inconvenientes de funcionamiento	10
6 Resultados Finales	11
6.1. <i>Sorting by Weight</i>	11
6.1.1. Partes	11
6.1.2. Funcionamiento	13
6.1.2.1. Tratamiento de Errores	14
6.1.3. Implementación	15
6.1.3.1. Variables Globales	15
6.1.3.2. POU	16
6.2. <i>Control de Nivel</i>	19
6.2.1. Partes	19
6.2.2. Funcionamiento	20
6.2.2.1. <i>PID</i>	21
6.2.2.2. <i>Tratamiento de Errores</i>	22
6.2.3. Implementación	22
6.1.3.1. Variables Globales	22
6.1.3.2. POU	23
6.1.3.1. Diseño del PID	25
6.3. <i>Almacén Automatizado</i>	28
6.3.1. Partes	28
6.3.2. Funcionamiento	29
6.3.2.1. Brazo Pick and Place	30
6.3.2.2. Paletizadora	31
6.3.2.3. Giradora 1	33

6.3.2.4.	Cajones	34
6.3.2.5.	Giradora 2	35
6.3.2.6.	Cintas de Entrada al Almacén	36
6.3.2.7.	Almacén Automatizado	37
6.3.2.8.	Tratamiento de Errores	41
6.3.3.	Implementación	41
6.3.3.1.	Variables Globales	41
6.3.3.2.	POUs	57
7	Anexos	64
	<i>Anexo-A. Librería de Bloques Funcionales</i>	<i>64</i>
	Anexo-A1. Sorting by Weight	64
	Anexo-A2. Control de Nivel	67
	Anexo-A3. Almacén Automatizado	42
	<i>Anexo-B. CD con código ejercicios CODESYS</i>	<i>82</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables globales de Sorting by Weight	15
Tabla 2. Variables internas del Modo Manual	17
Tabla 3. Variables internas del Modo Automático.	17
Tabla 4. Variables Globales del Control de Volumen	22
Tabla 5. Variables internas POU Modo Manual/Auto del Control de Nivel	24
Tabla 6. Variables internas de la POU SPyPV del Control de Nivel	25
Tabla 7. Variables globales parte Brazo Pick and Place del Almacén Automatizado	41
Tabla 8. Variables globales de la paletizadora del Almacén Automatizado	43
Tabla 9. Variables globales de la cinta giradora 1 del Almacén Automatizado	46
Tabla 10. Variables globales de la parte de los cajones del Almacén Automatizado	47
Tabla 11. Variables globales de la cinta giradora 2 del Almacén Automatizado	49
Tabla 12. Variables globales de las cintas de entrada al Almacén Automatizado	51
Tabla 13. Variables globales del Almacén Automatizado	52
Tabla 14. Variables globales del Panel de control del Almacén Automatizado	55
Tabla 15. Variables internas de la POU Modo Manual Resto	57
Tabla 16. Variables internas de la POU Modo Auto Resto	58
Tabla 17. Variables internas de la POU Modo Manual Piezas	59
Tabla 18. Variables internas de la POU Modo Auto Piezas	60
Tabla 19. Variables internas de la POU Modo Manual Paletizadora	60
Tabla 20. Variables internas de la POU Modo Auto Paletizadora	61
Tabla 21. Variables internas de la POU Modo Auto Cajones	62
Tabla 22. Variables de la POU combrobarhuecolibre	62
Tabla 23. Variables de la POU Irposicion	62
Tabla 24. Variables de la POU Orgmatrizpos	63
Tabla 25. Variables Internas de la POU CintaEnt	64
Tabla 26. Variables Internas de la POU Calculopesocaja	65
Tabla 27. Variables Internas de la POU CintasSalida	66
Tabla 28. Variables internas FBD PID	68
Tabla 29. Variables de la POU Almacen1	68
Tabla 30. Variables de la POU Cajass	70
Tabla 31. Variables de la POU Paletizadora	73
Tabla 32. Variables de la POU Cajaspaletizadora	75

Tabla 33. Variables de la POU PaletsPaletizadora 77

Tabla 34. Variables de la POU Cajones del Almacén Automatizado 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. OPC Data Access del ejercicio Control de Nivel.	9
Figura 2. Ejercicio Sorting by Weight vista general.	11
Figura 3. Partes de la planta Sorting by Weight.	12
Figura 4. Panel de Control de la planta Sorting by Weight.	13
Figura 5. Modo General de Funcionamiento Sorting by Weight.	14
Figura 6. Control de Nivel vista general.	19
Figura 7. Panel de Control de la planta Control de Nivel	20
Figura 8. Modo General de funcionamiento Control de Nivel.	20
Figura 9. Esquema de control PID de una planta	21
Figura 10. Control de la planta con K_p igual a 1	26
Figura 11. Control de la planta con K_p igual a 10	26
Figura 12. Control de la planta con K_i igual a 0.0001	27
Figura 12.A. Control de la planta con K_i igual a 0.0005	27
Figura 13. Control de la planta con K_i igual a 0.001	28
Figura 14. Almacén Automatizado vista general.	28
Figura 15. Modo General de funcionamiento Almacén Automatizado	30
Figura 16. Brazo pick and place almacén automatizado.	31
Figura 17. Paletizadora almacén automatizado.	31
Figura 18. Colocación 1 de las cajas de la paletizadora almacén automatizado.	32
Figura 19. Colocación 2 de las cajas de la paletizadora almacén automatizado.	32
Figura 20. Cajas colocadas sobre el palet del almacén automatico.	33
Figura 21. Giradora 1 del almacén automatico.	33
Figura 22. Parte de cajones del almacén automatizado.	34
Figura 23. Cajones esperando a que se les ceda el paso para la giradora 2.	35
Figura 24. Giradora 2 del almacén automatizado.	35
Figura 25. Cintas de entrada al almacén automatizado.	36
Figura 26. Palets esperando en las cintas para ser almacenados en el almacén automatizado.	37
Figura 27. Almacén Automatizado.	37
Figura 28. Sensor de alturas a la entrada del almacén automatizado.	38
Figura 29. Palet con cajas de la paletizadora del almacén automatizado.	38
Figura 30. Palet con pieza del brazo pick and place del almacén automatizado.	39

Figura 31. Palet con cajón del almacén automatizado.	39
Figura 32. Pantalla SCADA para sacar palets del almacén automatizado.	40
Figura 33. Salida del Almacén automatizado.	40
Figura 34. Partes del Brazo Pick and Place del Almacén Automatizado	42
Figura 35. Parte de arriba 1 de la paletizadora del Almacén Automatizado	44
Figura 36. Parte de arriba 2 de la paletizadora del Almacén Automatizado	45
Figura 37. Parte de debajo de la paletizadora del Almacén Automatizado	46
Figura 38. Partes de la cinta giradora 1 del Almacén Automatizado	47
Figura 39. Partes de los cajones del Almacén Automatizado	49
Figura 40. Partes de la Cinta giradora 2 del Almacén Automatizado	50
Figura 41. Partes de las cintas de entrada al Almacén Automatizado	52
Figura 42. Partes del Almacén Automatizado	54
Figura 43. Cintas de salida del Almacén Automatizado	55
Figura 44. Partes del Panel de Control del Almacén Automatizado	56
Figura 45. FBD de la cinta de entrada.	64
Figura 46. FBD de la cinta transportadora de peso y la cinta clasificadora de ruedas.	65
Figura 47. FBD de las cintas transportadoras de salida.	66
Figura 48. FBD de un contador.	67
Figura 49. FBD PID del Control de Nivel.	67
Figura 50. FBD del almacén automatizado.	70
Figura 51. FBD del pick and place del almacén automatizado.	72
Figura 52. FBD contador.	72
Figura 53. FBD de la paletizadora del almacén automatizado.	73
Figura 54. FBD PaletsPaletizadora del almacén automatizado.	76
Figura 55. FBD CajasPaletizadora del almacén automatizado.	77
Figura 56. FBD TratErrorCajas del almacén automatizado.	78
Figura 57. FBD de un contador TON del almacén automatizado.	78
Figura 58. FBD Cajones del almacén automatizado.	79
Figura 59. FBD Giradora1 del almacén automatizado.	81
Figura 60. FBD Giradora2 del almacén automatizado.	81

1 OBJETO

En la actualidad existen una gran diversidad de plantas industriales a lo largo del mundo que se encargan de los distintos procesos necesarios para la construcción del mundo en el que vivimos, desde plantas químicas, como pueden ser las plantas de tratados de residuos, hasta plantas de generación de potencia o plantas de fabricación de coches. El estudio de estas plantas, como su funcionamiento y control es una parte fundamental de la formación de los alumnos de ingeniería y en especial los del Grado en Ingeniería en las Tecnologías industriales.

Es por ello que el objeto de este Trabajo de Fin de Grado consistirá en el desarrollo de distintas partes de plantas industriales, enfocadas a un punto de vista de la rama de la automatización industrial. Además se pondrán en funcionamiento mediante la programación de las mismas de un modo de estudio didáctico.

Para el desarrollo se hará utilidad del simulador 3D de la empresa Real Games, FactoryI/O y para su correspondiente codificación se usará un programa compatible con dicho simulador que se ha visto a lo largo de la carrera en distintas asignaturas de automatización de procesos, que es el Codesys V3.5.

2 ALCANCE

Una vez que se ha visto que el objeto de estudio de este TFG consistirá en el desarrollo de partes de plantas industriales comunes en la industria, y su correspondiente codificación para el funcionamiento, enfocado a los conocimientos de la automatización industrial de las plantas, se verá cual tiene que ser el alcance del mismo.

El mínimo alcance que debería tener el TFG es el de la implementación de los conocimientos estudiados en la carrera sobre teorías de control y automatización de procesos industriales, es por ello que tendrá un alcance donde se realicen al menos un ejercicio de control de una planta en el que las variables vayan cambiando en el tiempo, además de la automatización de una planta de la manera más eficiente posible, siempre representando de la manera más veraz posible la realidad de una planta automática de la industria actual.

Es por ello que el alcance final que tendrá este TFG será el de desarrollar el control de nivel de unos tanques de agua, como se podría ver en gran cantidad de partes de la industria actual, además otro ejercicio de la clasificación de piezas por distintas características mediante una planta automática, simulando cualquier planta de fabricado que existen hoy en día, y por último el desarrollo de un almacén automatizado con distintas clases de piezas para ser almacenadas, como se podría ver en casi cualquier fábrica de la actualidad.

3 REQUISITOS DE DISEÑO

Los requisitos de diseño que se tendrán en cuenta para el desarrollo y su correspondiente codificación de los tres ejercicios descritos en el alcance, que son un control de nivel de tanques de agua, la clasificación de piezas en una planta automática y un almacén automatizado, serán los siguientes:

- Este Trabajo de Fin de Grado se enfoca en el desarrollo de ejercicios didácticos de plantas industriales usando Codesys, es por ello que la codificación deberá de ser de manera que se pueda usar para la enseñanza en las aulas, por lo tanto se utilizaran Bloques Funcionales (FBD por sus siglas en inglés, Function Block Diagram), debido a la sencillez de los mismos para su implementación de distintos programas y plantas.
- De cara al control de nivel de la planta de los tanques de agua, será necesario el desarrollo de un controlador que controle los mismos en el punto de funcionamiento que se le aplique, es por ello que al menos tendrá que tener un controlador proporcional P.
- La planta de clasificación de piezas tendrá que ser similar a una planta de la realidad, donde se busque la eficiencia de la clasificación, es por ello que se deberá llevar al nivel máximo de clasificación por minuto, para así maximizar el volumen que maneja la planta y ahorrar costes y tener más beneficio en la misma.
- En el almacén automatizado se deberá incluir un tratamiento de prioridades para los distintos tipos de piezas que van a ser almacenadas.
- Por último, se deberá incluir un tratamiento de errores en los distintos ejercicios.

4 ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En este apartado se detallarán las soluciones consideradas para el desarrollo de este TFG.

4.1 Sorting by Weight

En este ejercicio se va a diseñar una planta que clasifique cajas por distinto tipo. Para ello existen gran cantidad de características por las que se podrían diferenciar, ya sea por la altura mediante sensores colocados en los lados de las cintas para que cuando pasen las cajas se midan las alturas de las mismas, diferenciación mediante el color de los distintos tipos de piezas mediante sensores visuales para captar el color de las piezas, o incluso mediante cintas que midan el peso de las cajas que pasen por ellas, etc.

Es por ello que se ha decidido que la diferenciación que se va a realizar en este ejercicio es según el peso de las distintas cajas y partes que van a pasar por esta planta de clasificación.

4.2 Control de Nivel

Una gran oportunidad de poner en práctica las lecciones aprendidas sobre Control Automático es mediante el control de una planta que tenga señales y variables analógicas a controlar, como sería el control de un tanque de agua mediante la aplicación de un controlador tipo P, PI o PID.

Para este ejercicio se ha decidido la implantación de un controlador PID para controlar el flujo de agua en el tanque. Se verá cómo funciona con un controlador proporcional inteligente al principio, y como se corrige el error en el régimen permanente con un controlador PI.

4.3 Almacén Automatizado

Un ejercicio que pone en práctica las lecciones aprendidas de la automatización industrial es el diseño de un almacén automatizado. Para ello se vio que deberían almacenarse distintos tipos de piezas para añadir complejidad al mismo, además de que fuese lo más realista posible a una planta industrial actual. Además se contempló los distintos tipos de almacén que se podrían implantar además de su funcionamiento de entrada y de salida de palets, como podría ser totalmente automatizado, o ir diciendo a que posición del almacén van los palets o ir diferenciando distintos almacenes para distintos tipos de palets que vayan llegando.

Debido a todo esto se ha decidido para este ejercicio el diseño de un solo almacén con solo una grúa posicionadora en el que los palets van llegando por una misma cinta y son sacados por otra distinta usando la misma grúa posicionadora del almacén.

5 INTEGRACIÓN DE FACTORY I/O CON CODESYS

En este capítulo vamos a describir el funcionamiento del simulador Factory I/O y su integración con el programa CODESYS.

5.1 Factory I/O

Factory I/O es un simulador 3D de aplicaciones industriales diseñadas para ejercitarse en la programación de PLCs. Con este simulador se evitan riesgos para las personas y para los equipos. En un mínimo espacio posible transformando el ordenador en un simulador y un PLC. Funciona con cualquier PLC, así como con la mayoría de tecnologías de automatización.

Factory I/O tiene una gran variedad de aplicaciones industriales comunes además de ofrecer aplicaciones industriales a gran escala para las aulas. Aparte de los escenarios ya disponibles se pueden construir escenarios de aprendizaje propios usando la biblioteca de elementos industriales de la que dispone.

5.1.1 Integración del Factory I/O con CODESYS

La integración del Codesys con el simulador Factory I/O se hace mediante el servidor OPC Data Access. En la figura 1 se aprecia el OPC conectado en el ejercicio 2 *Control de Nivel*, donde los sensores y actuadores que se tienen en el diseño de la planta que se ha creado en el Factory I/O se pueden conectar con las variables del programa creado en el Codesys.

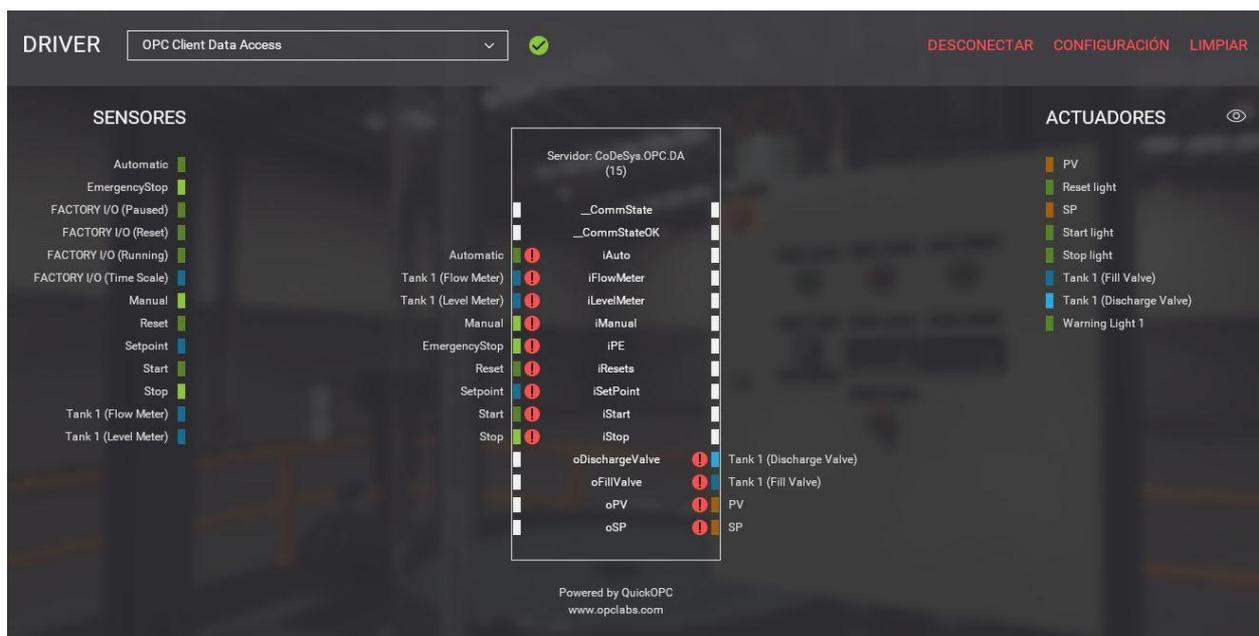


Figura 1. OPC Data Access del ejercicio Control de Nivel.

5.1.2 Inconvenientes de funcionamiento

En general el simulador Factory I/O funciona de manera bastante fiable, pero está sujeto a las restricciones del ordenador en el que se instalen los programas, como son la capacidad de la tarjeta RAM y su tarjeta gráfica, ya que dependiendo de la capacidad y potencia de las mismas los programas funcionarán mejor o peor.

En el caso de este TFG, en los ejercicios de *Sorting by Weight* y *Control de Nivel*, al tener pocos sensores y actuadores y la planta no ser excesivamente grande, se ve que tienen un correcto funcionamiento, pero en el ejercicio *Almacén Automatizado*, al tener un número tan elevado de sensores y actuadores (alrededor de 105) conectados a través del OPC en el Factory I/O, piden un gran rendimiento de la tarjeta gráfica que sumado al funcionamiento del Codesys hace que tenga ligeros retrasos en el funcionamiento de los sensores y actuadores, provocando fallos imprevistos en las máquinas y no funcionando de una manera del todo fiable por causas externas al código desarrollado.

6 RESULTADOS FINALES

En este capítulo se va a describir los distintos ejercicios realizados en el proyecto que serán, Sorting by Weight, Control de Nivel y Almacén Automatizado.

6.1 Sorting by Weight

En la figura 2 se aprecia la planta de clasificado de cajas.

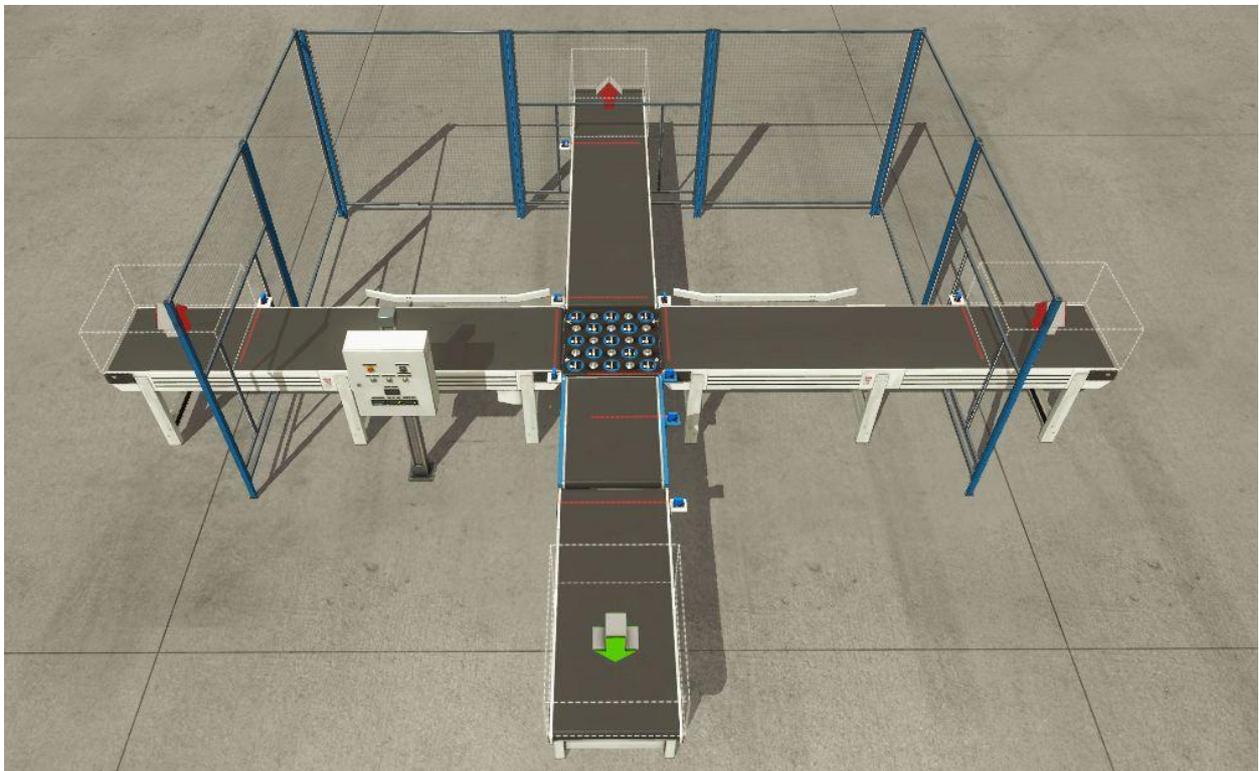


Figura 2. Ejercicio Sorting by Weight vista general.

6.1.1 Partes

Este ejercicio consta de las siguientes partes para su correcto funcionamiento:

- 1 cinta transportadora de 2 metros.
- 3 cintas transportadoras de 4 metros.
- 1 cinta transportadora indicadora de peso.
- 1 cinta clasificadora de ruedas.
- 2 alineadoras.
- 8 sensores fotoeléctricos.
- 8 sustentadores de metal.
- 1 cuadro eléctrico.
- 1 columna de apoyo.

- 3 botones.
- 1 seta de emergencia.
- 1 interruptor ON/OFF.
- 4 displays digitales.
- 1 zona de emisión de piezas.
- 3 zonas de recepción de piezas.
- 7 vallas de seguridad.

En la figura 3 se ve la planta con sus distintas partes.

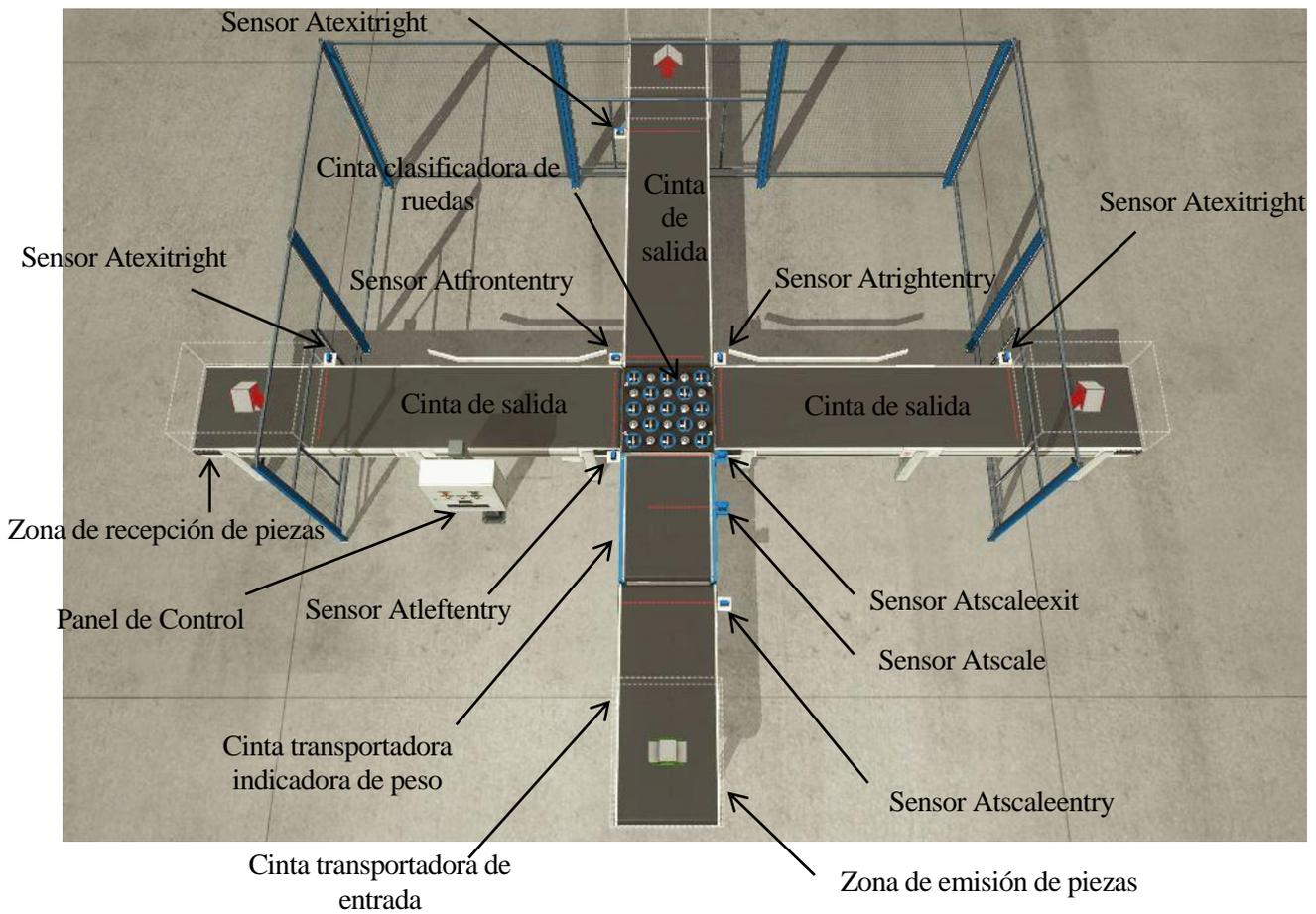


Figura 3. Partes de la planta Sorting by Weight.

En la figura 4 se observa el panel de control de la planta.



Figura 4. Panel de Control Sorting by Weight

6.1.2 Funcionamiento

El funcionamiento consiste en la separación por peso de distintos tipos de cajas y piezas, y se realiza del siguiente modo:

1. Van a ser emitidas 6 tipos de cajas y piezas en la zona de emisión de piezas.
 - a. Caja S, de 8 kilogramos de peso.
 - b. Caja M, de 10 kilogramos de peso.
 - c. Caja L, de 15 kilogramos de peso.
 - d. Caja de paletización, de 3 kilogramos de peso.
 - e. Base de producto verde, de 7 kilogramos de peso.
 - f. Tapa de producto azul, de 5 kilogramos de peso.
2. Una vez emitidas las partes irán por la cinta principal hasta el primer sensor, que parará las piezas hasta que la cinta indicadora de peso quede vacía.
3. Seguidamente después de la cinta principal, las piezas pasan por la cinta indicadora de peso para que sean direccionadas hacia alguno de los lados según su peso.
4. Una vez que la pieza ha sido pesada, la cinta clasificadora la mandara a alguno de los lados dependiendo del peso respectivo de la pieza, a saber:
 - a. Piezas entre 1.1 y 2.9 kilogramos serán dirigidas hacia la izquierda.
 - b. Piezas entre 3 y 4.5 kilogramos serán dirigidas hacia adelante.
 - c. Piezas mayores de 4.5 kilogramos serán dirigidas hacia la derecha.
5. Una vez que las piezas han sido direccionadas por la cinta, pasan a las cintas finales para que sean recogidas en las zonas de extracción de piezas.

Se ha intentado llevar la clasificadora de piezas a su máximo volumen de procesado, para mejorar su eficacia y la de la supuesta planta en la que estuviera instalada. Para ello son emitidas 60 piezas por minuto.

En el modo de funcionamiento lo que nos encontramos es una guía Gemma donde la primera capa de esta es el *Modo General* de funcionamiento (figura 5):

Dentro del *Modo General* de funcionamiento nos encontramos con los cuatro distintos submodos de funcionamiento que son: *Inicio*, *Func Normal*, *Parada Emergencia* y *Modo Reinicio*.

1. El primer submodo que se encuentra la planta es *Inicio*, que se corresponde cuando la planta acaba de iniciarse y se están inicializando los sensores, cintas y demás partes de la planta.
2. El submodo *Func Normal*, se corresponde cuando la planta funciona de un modo correcto, y se podrían distinguir dos tipos de funcionamiento a su vez, que son:
 - a. El funcionamiento manual, en donde el operario es el que manejaría la totalidad de las cintas
 - b. El funcionamiento automático, en donde la planta funciona por si sola dirigiendo las piezas a sus respectivos sitios dependiendo de su peso.

Para pasar del submodo *Inicio* al de *Func Normal*, no puede haber ningún error activo, o lo que sería lo mismo, que no esté activada la seta de emergencia, y además se debe pulsar el botón de Start del Panel de Control, para indicar el inicio del funcionamiento de la planta.

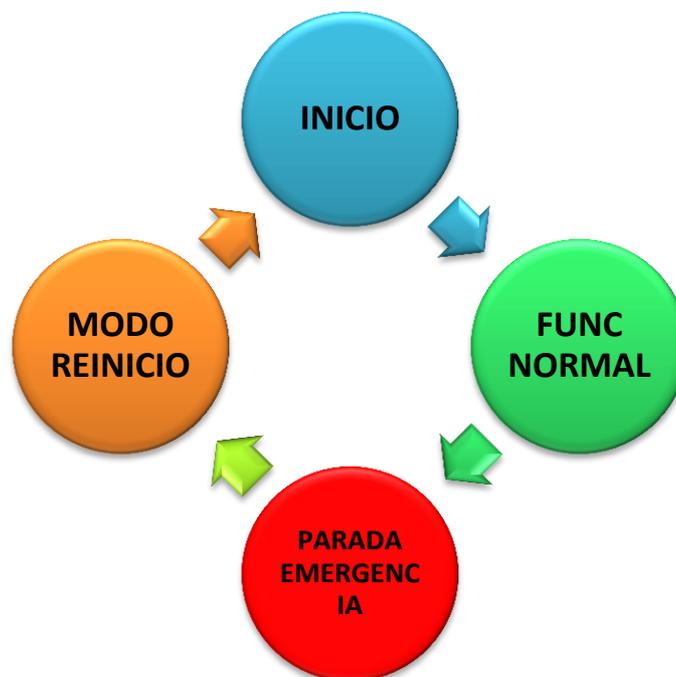


Figura 5. Modo General de Funcionamiento Sorting by Weight

3. En el submodo de funcionamiento *Parada de Emergencia*, que se activará cuando se active la seta de emergencia, la estación es parada completamente debido a que supuestamente hay un error en la planta y ha de ser subsanado.
4. Finalmente, en el submodo *Modo Reinicio*, que será cuando ya se haya subsanado el error, por lo que se habrá desactivado la seta de emergencia, se reiniciarán las máquinas de la planta en caso de que sea necesario. Una vez reiniciada la planta, será pulsado el botón Reinicio y se volverá al inicio del *Modo General* de funcionamiento.

6.1.2.1 Tratamiento de Errores

En la planta también se contempla un tratamiento de errores en el modo de funcionamiento automático, lo que provocaría que al detectarse un error en la planta se pasara al modo de funcionamiento manual

automáticamente para que pueda ser subsanado el error que haya habido, y en el caso de que fuera un error de carácter grave, se debería pulsar la seta de emergencia para que fuera parado del todo el funcionamiento de la planta.

En el caso que corresponde a nuestra planta, cuando una pieza sale de la cinta clasificadora de ruedas y entra en alguna de las cintas finales, activa un sensor de entrada, y el error ocurriría cuando no se activa el sensor del final de la cinta en un tiempo acordado, indicando que la pieza ya se ha ido, lo que significaría que ha habido una obstrucción en la cinta u otro problema de carácter similar correspondiente al mal funcionamiento de la cinta.

6.1.3 Implementación

6.1.3.1 Variables Globales

Las variables utilizadas en el ejercicio son las necesarias para el manejo de los sensores y actuadores de la planta además de variables globales propias del programa para su correcto funcionamiento. Las variables están representadas en la siguiente tabla (tabla 1):

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iPE	BOOL	Sensor de la seta de emergencia
iAuto	BOOL	Sensor del botón Automático/Manual
iManual	BOOL	Sensor del botón Automático/Manual
iStart	BOOL	Sensor del botón Start
iStop	BOOL	Sensor del botón Stop
iReset	BOOL	Sensor del botón Reset
iAtscaleentry	BOOL	Sensor que me marca que la pieza ha entrado en la cinta transportadora indicadora de peso
iAtscale	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está en la posición para ser medida
iWeight	WORD	Variable del valor del peso de la pieza
iAtscaleexit	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está saliendo de la cinta transportadora indicadora de peso
iAtleftentry	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está entrado en la cinta final de la izquierda
iAtforwardentry	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está entrado en la cinta final de adelante
iAtrightentry	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está entrado en la cinta final de la derecha
iAtexitright	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está saliendo en la cinta final de la derecha
iAtexitfront	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está saliendo en la cinta final de adelante
iAtexitleft	BOOL	Sensor que me marca que la pieza está saliendo en la cinta final de la izquierda
oEntryconveyor	BOOL	Actuador de la cinta de entrada inicial

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
oLoadscale	BOOL	Actuador de la cinta trasportadora indicadora de peso
oSendforward	BOOL	Actuador para mandar hacia adelante en la cinta clasificadora de ruedas
oSendright	BOOL	Actuador para mandar hacia la derecha en la cinta clasificadora de ruedas
oSendleft	BOOL	Actuador para mandar hacia la izquierda en la cinta clasificadora de ruedas
oLeftconveyor	BOOL	Actuador de la cinta transportadora de salida de la izquierda
oRightconveyor	BOOL	Actuador de la cinta transportadora de salida de la derecho
oFrontconveyor	BOOL	Actuador de la cinta transportadora de salida de adelante
oPeso	WORD	Actuador del display del panel de control para el peso de las partes
midiendo	BOOL	Variable interna del programa para indicar que hay una caja que se está midiendo
derecha	BOOL	Variable interna para indicar que las piezas deben de ir hacia la derecha una vez que se ha medido la pieza
izquierda	BOOL	Variable interna para indicar que las piezas deben de ir hacia la izquierda una vez que se ha medido la pieza
contadorfront	WORD	Variable interna que va contando las cajas que salen hacia adelante
contadorright	WORD	Variable interna que va contando las cajas que salen hacia la derecha
contadorleft	WORD	Variable interna que va contando las cajas que salen hacia la izquierda
peso	WORD	Variable interna para hacer cálculos con el peso de las piezas
error	BOOL	Variable que me marca que hay un error en la planta

Tabla 1. Variables globales de Sorting by Weight

6.1.3.2 POU's

La implementación de este ejercicio se ha realizado en un total de 11 POU's dsitribuidas gerárquicamente de la forma que las partes más bajas son las que tienen el mayor código para el funcionamiento de la planta y las más altas son las que controlan los estados posibles de la planta. Las POU's de este ejercicio serían las siguientes:

1. PLC_PRG: esta POU es de tipo Program (PRG) en lenguaje ST (structure test por sus siglas en ingles), es el programa principal con el que se empieza siempre en Codesys. De aquí salen las demás POU's para el funcionamiento del ejercicio.
 - a. Modo General: es una POU tipo Program (PRG) en lenguaje SFC que está basado en el modo de funcionamiento de la guía Gemma, en el que nos encontraríamos dentro los siguientes estados de funcionamiento:
 - i. Parada de Emergencia: es una POU tipo Program (PRG) escrita en lenguaje ST que

me controla cuando en el sistema se me activa la seta de emergencia, por lo que me pondrá todas las cintas en FALSE para que se detengan y así poder arreglar el error que haya en las cintas. Se ha escrito en lenguaje ST debido a su fácil manejo para cambiar de estado las variables del sistema.

- ii. Inicio, Reinicio: no son ningún tipo de POU, sino un estado del modo general; no se realiza ninguna acción en el código, pero en la realidad corresponderían a las acciones de inicio y puesta a punto de las cintas por parte de los operarios y de la fase de reinicio por si tuvieran que quitar físicamente algo de la cinta.
- iii. Func Normal: esta POU tipo Program (PRG) controla los modos de funcionamiento cuando la planta está funcionando con normalidad. Debido a su secuencialidad entre manual y automático de la planta se ha implementado con lenguaje SFC ya que es fácil entendimiento para procesos secuenciales.
 1. Modo Manual: este modo de funcionamiento es una POU tipo Program (PRG) programado en lenguaje ST. Cuando se activa este modo de funcionamiento, las cintas se paran esperando a ser movidas de modo manual por parte del operario. Las variables internas de esta POU son las de la tabla 2.

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
F_exitright	F_TRIG	Señal de flanco de subida del sensor iAtexitright
F_exitleft	F_TRIG	Señal de flanco de subida del sensor iAtexitleft
F_exitfront	F_TRIG	Señal de flanco de subida del sensor iAtexitfront
contadorright	CTU	Contador para las piezas que salen por la derecha
contadorleft	CTU	Contador para las piezas que salen por la izquierda
contadorfront	CTU	Contador para las piezas que salen por el frente
reset	BOOL	Variable de reset de los contadores

Tabla 2. Variables internas del Modo Manual

2. Modo Automático: este otro modo de funcionamiento es una POU tipo Program (PRG) que se encarga del funcionamiento automático de la planta. Esta POU está escrita en lenguaje LD, debido a su fácil programación cuando se utilizan bloques funcionales, como es el caso, para el funcionamiento de las distintas partes de la planta. Las variables internas de esta POU se encuentran en la tabla 3.

Dentro del Modo Automático se encuentran los distintos Bloques Funcionales de la planta, que controlan el funcionamiento de las distintas partes de la misma. Están explicados en profundidad en el Anexo A-1.

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
contadorright	CTU	Contador para las piezas que salen por la derecha

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
contadorleft	CTU	Contador para las piezas que salen por la izquierda
contadorfront	CTU	Contador para las piezas que salen por el frente
reset	BOOL	Variable de reset de los contadores
Finmidiendo	BOOL	Variable que me marca que la pieza ya ha sido medida en la cinta transportadora indicadora de peso.
CalculoPesoCaja_0	CalculoPesoCaja	POU tipo Function Block, que controla el proceso de pesado de las partes que pasan por la cinta transportadora indicadora de peso. Está escrito en lenguaje ST debido a que se utilizan variables analógicas y se realizan operaciones con números.
CintaEnt_0	CintaEnt	POU tipo Function Block, que maneja la cinta transportadora de entrada. Está codificado en lenguaje LD.
CintaEnt_1	CintaEnt	POU tipo Function Block, que maneja la cinta transportadora indicadora de peso. Está codificado en lenguaje LD.
CintasSalidas_right	CintasSalidas	POU tipo Function Block (FB), que maneja la cinta de salida derecha. Está codificado en lenguaje LD.
CintasSalidas_left	CintasSalidas	POU tipo Function Block (FB), que maneja la cinta de salida izquierda. Está codificado en lenguaje LD.
CintasSalidas_forward	CintasSalidas	POU tipo Function Block (FB), que maneja la cinta de salida frontal. Está codificado en lenguaje LD.

Tabla 3. Variables internas del Modo Automático.

6.2 Control de Nivel

En la figura 6 se muestra la planta que se ha diseñado para este ejercicio, que son dos tanques de agua conectados entre sí. En este ejercicio se controlará el nivel de agua del segundo depósito actuando sobre la entrada del primero.



Figura 6. Control de Nivel vista general.

6.2.1 Partes

Este ejercicio del control del nivel de un tanque de agua consta de las siguientes partes:

- 2 tanques de agua.
- 1 cuadro eléctrico.
- 3 botones.
- 1 seta de emergencia.
- 1 interruptor ON/OFF.
- 2 display digitales.
- 1 potenciómetro.
- 1 plataforma.
- 1 columna de apoyo.

En la figura 7 se aprecia el panel de control de la planta.



Figura 7. Panel de Control de la planta Control de Nivel

6.2.2 Funcionamiento

El funcionamiento de control de la planta consiste en el control del nivel de dos depósitos de agua que se llevará a cabo mediante un controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).

Para los distintos modos de funcionamiento de la planta se ha usado la estructura de la guía Gemma, en donde se encuentra en la primera capa de funcionamiento el *Modo General*, que se ve en la figura 8:

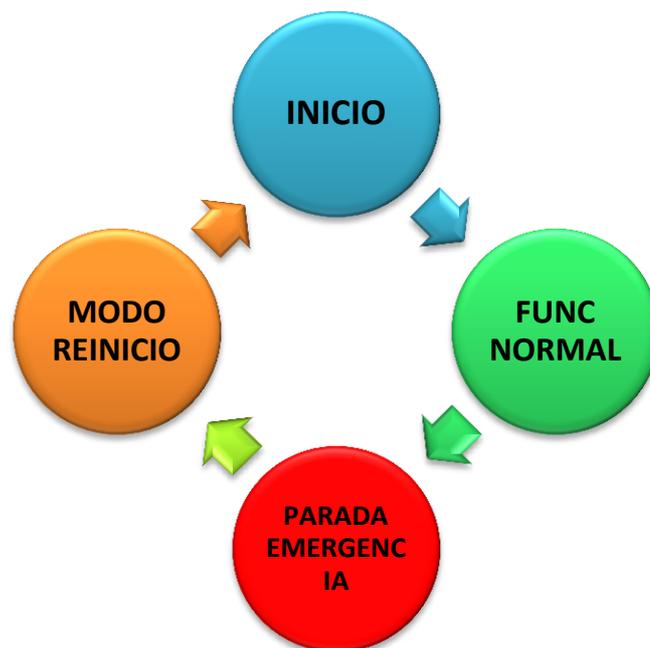


Figura 8. Modo General de funcionamiento Control de Nivel

Dentro del *Modo General* de funcionamiento nos encontramos con los cuatro distintos submodos de funcionamiento que son: *Inicio*, *Func Normal*, *Parada Emergencia* y *Modo Reinicio*.

1. El primer submodo que se encuentra la planta es *Inicio*, que se corresponde cuando la planta acaba de iniciarse y se están inicializando los sensores y demás partes de la planta.
2. El submodo *Func Normal*, se corresponde cuando la planta funciona de un modo correcto, y se podrían distinguir dos tipos de funcionamiento a su vez, que son:
 - a. El funcionamiento manual, en donde el operario es el que manejaría la totalidad de la planta.
 - b. El funcionamiento automático, en donde la planta funcionaría por sí sola controlando el nivel de agua del segundo tanque mediante el controlador PID.

Para pasar del submodo *Inicio* al de *Func Normal*, no puede haber ningún error activo, o lo que sería lo mismo, que no esté activada la seta de emergencia, y además se debe pulsar el botón de Start del Panel de Control, para indicar el inicio del funcionamiento de la planta.

3. En el submodo de funcionamiento *Parada de Emergencia*, que se activará cuando se active la seta de emergencia, la estación es parada completamente y el tanque será vaciado entero debido a que supuestamente hay un error en la planta y ha de ser subsanado.
4. Finalmente, en el submodo *Modo Reinicio*, que será cuando ya se haya subsanado el error, por lo que se habrá desactivado la seta de emergencia, se reiniciarán las máquinas de la planta en caso de que sea necesario. Una vez reiniciada la planta, será pulsado el botón Reinicio y se volverá al inicio del *Modo General* de funcionamiento.

6.2.2.1 PID

Los controladores PID son ampliamente usados en los sistemas de control industrial. Se aplican a la mayoría de los sistemas de control. Pero se aprecia más su utilidad cuando el modelo de la planta a controlar no se conoce y los métodos analíticos no pueden ser empleados. El controlador PID recibe una señal de entrada (generalmente es el error $e(t)$) y proporciona una salida (acción de control, $U(t)$).

Entonces, la función de transferencia del controlador PID es:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

donde K_p es la ganancia proporcional, T_i el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo. El esquema habitual de uso del controlador PID se aprecia en la figura 9:

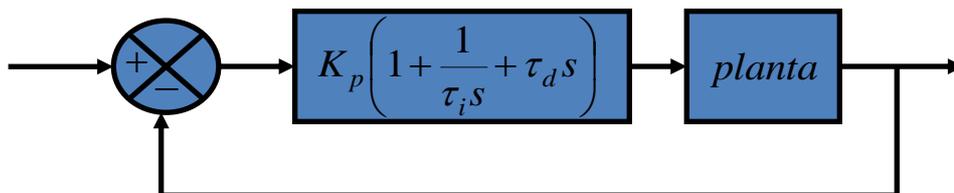


Figura 9. Esquema de control PID de una planta

En la que la función de transferencia del controlador es:

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

- PID discreto

El PID implementado en este ejercicio es un PID discreto que sigue a la siguiente fórmula

$$Y = U_0 + \Delta U \quad (3)$$

de donde el primer término se corresponde con

$$U_0 = 2 \times \sqrt{\text{Set Point}} \quad (4)$$

que es el término del punto de equilibrio en el tanque de agua. El segundo término es

$$\Delta U = K_p \times E_r + K_i \times \int E_r + K_d \times \frac{dE_r}{dt} \quad (5)$$

que se corresponde con el incremento de la entrada al sistema a controlar. K_p , K_i y K_d son los términos proporcional, integral y derivativo respectivamente, y en donde la integral del error y la derivada del error se aproximan de la siguiente forma:

$$\int E_r \sim iE_r = iE_r + E_r \quad (6)$$

$$\frac{dE_r}{dt} \sim E_r - E_{r\text{anterior}} \quad (7)$$

6.2.2.2 Tratamiento de Errores

En este ejercicio se cuenta con un tratamiento de errores enfocado al desbordamiento del tanque de control del nivel de agua, esto es, que se activará la variable de ‘overflow’ cuando el tanque se desborde debido a una mala parametrización de los parámetros del PID. Este tratamiento de errores funciona cuando se está en el modo de funcionamiento automático, ya que es cuando el PID está controlando el tanque.

6.2.3 Implementación

6.2.3.1 Variables Globales

Las variables utilizadas en en el ejercicio son las necesarias para el manejo de los sensores y actuadores de la planta además de variables globales propias del programa para su correcto funcionamiento. Las variables están representadas en la siguiente tabla (tabla 4):

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iFlowMeter1	REAL	Sensor del caudal de agua que sale por el depósito 1, [0,10]V
iLevelMeter1	REAL	Sensor del nivel de agua del depósito 1, [0,10]V
iSetPoint	REAL	Sensor del Set Point que se desea para el nivel de agua en el depósito 2, [0,10]V
oFillValve1	REAL	Actuador para el caudal de agua que entra en el depósito 1, [0,10]V
oDischargeValve1	REAL	Actuador para el caudal de agua que se descarga en el depósito 1, [0,10]V

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iFlowMeter2	REAL	Sensor del caudal de agua que sale por el depósito 2, [0,10]V
iLevelMeter2	REAL	Sensor del nivel de agua del depósito 2, [0,10]V
oFillValve2	REAL	Actuador para el caudal de agua que entra en el depósito 2 , [0,10]V
oDischargeValve2	REAL	Actuador para el caudal de agua que se descarga en el depósito 2, [0,10]V
iPE	BOOL	Sensor de la seta de emergencia
iAuto	BOOL	Sensor del botón Automático/Manual
iManual	BOOL	Sensor del botón Automático/Manual
iStart	BOOL	Sensor del botón Start
iStop	BOOL	Sensor del botón Stop
iReset	BOOL	Sensor del botón Reset
oSP	BOOL	Actuador de la pantalla de visualización para el Set Point
oPV	BOOL	Actuador de la pantalla de visualización para el Point Value
vaciar	BOOL	Variable interna para indicar que se tienen que vaciar los depósitos durante la parada de emergencia
vaciado	BOOL	Variable interna que indica que los depósitos han sido vaciados

Tabla 4. Variables Globales del Control de Volumen

6.2.3.2 POU's

La implementación de este ejercicio se ha realizado en un total de 6 POU's distribuidas jerárquicamente de la forma que las partes más bajas son las que tienen el mayor código para el funcionamiento de la planta y las más altas son las que controlan los estados posibles de la planta. Las POU's de este ejercicio serían las siguientes:

1. PLC_PRG: esta POU es de tipo Program (PRG) en lenguaje ST (structure test por sus siglas en inglés), es el programa principal con el que se empieza siempre en Codesys. De aquí salen las demás POU's para el funcionamiento del ejercicio.
 - a. Modo General: es una POU tipo Program (PRG) en lenguaje SFC que está basado en el modo de funcionamiento de la guía Gemma, en el que nos encontraríamos dentro los siguientes estados de funcionamiento:
 - i. Parada de Emergencia: es una POU tipo Program (PRG) escrita en lenguaje ST que me controla cuando en el sistema se me activa la seta de emergencia, por lo que me pondrá los tanques de agua a vaciarse por motivos de seguridad de la planta. Se ha escrito en lenguaje ST debido a su fácil manejo para cambiar de estado las variables del sistema.
 - ii. Inicio, Reinicio: no son ningún tipo de POU, sino un estado del modo general; no se

realiza ninguna acción en el código, pero en la realidad corresponderían a las acciones de inicio y puesta a punto de las cintas por parte de los operarios y de la fase de reinicio por si tuvieran que quitar físicamente algo de los tanques.

- iii. Func Normal: esta POU tipo Program (PRG) controla los modos de funcionamiento cuando la planta está funcionando con normalidad. Debido a su secuencialidad entre manual y automático de la planta se ha implementado con lenguaje SFC ya que es fácil entendimiento para procesos secuenciales.
 - 1. Modo Manual/Automático: este modo de funcionamiento es una POU tipo Program (PRG) programado en lenguaje LD. Al inicio de la planta, está en modo manual, por lo que se controlará el llenado de los tanques desde los actuadores manualmente. Una vez que se active el modo Automático se pasará inmediatamente a controlar la altura del segundo depósito con el controlador PID. Las variables internas de esta POU están en la siguiente tabla 5.

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
PID_1	PID	Bloque Funcional con el controlador PID
Error	REAL	Error del controlador PID (er = SP – h2)
Ierror	REAL	Integral del error del PID (ier = ier + er)
Errorant	REAL	Error en el instante anterior del PID
iU	REAL	Incremento de la entrada del sistema a controlar
U0	REAL	Término de entrada para el punto de equilibrio

Tabla 5. Variables internas POU Modo Manual/Auto del Control de Nivel

- b. SPyPV: esta POU que significa ‘Set Point y Point Value’, es de tipo Program (PRG) codificada en lenguaje ST, debido a que se están usando variables tipo REAL. Se encarga de varios aspectos del funcionamiento de la planta, el primero de ellos el ajuste de las unidades usadas en el Factory I/O, ya que se utilizan voltios [0,10] en los sensores y actuadores de los tanques, pero en el caso del Set Point (punto de altura que queremos en el segundo tanque) y del Point Value (altura que tenemos en el segundo tanque). El segundo aspecto del que se encarga esta POU es del control de la saturación de los tanques. Por último se encarga de asignar las salidas de agua de los tanques, que serán las siguientes:

$$Descarga\ Tanques = K \times \sqrt{Altura\ tanque\ 1} \quad (8)$$

De donde K se corresponde con una constante de fricción del agua por las tuberías del tanque, en nuestro caso está será

$$K = \sqrt{10} \quad (9)$$

La salida del primer depósito se corresponde con la entrada al segundo depósito. Las variables internas de esta POU están en la tabla 6.

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
K	REAL	Constante de fricción del agua por las tuberías del depósito 1
Entrada 2	REAL	Entrada de caudal de agua en el depósito 2 (igual a la salida del caudal de agua del depósito 1)
K2	REAL	Constante de fricción del agua por las tuberías del depósito 2

Tabla 6. Variables internas de la POU SPyPV del Control de Nivel

6.2.3.3 Diseño del PID

Lo primero que se va a diseñar es un controlador Proporcional P inteligente, entorno a un punto de funcionamiento de la planta. El punto de funcionamiento seleccionado será a una altura del depósito 2 que sea sobre la mitad del mismo, para así poder moverse hacia otro punto sin demasiados saltos grandes, este punto será $h_2 = 100$ (sobre 300), que se corresponde con un nivel del tanque 2 de 3.33 Voltios.

Una vez seleccionado el punto de funcionamiento de la planta, se buscará la K_p adecuada. Para ello se han hecho varios ensayos.

El primero que nos encontramos es con una $K_p = 1$, en donde se puede apreciar en la figura 10, como se lleva a la planta a un punto de operación por debajo al punto de funcionamiento, con un escalón de 1 Voltio, seguidamente, cuando el sistema se ha estabilizado, le metemos un nuevo escalón hasta los 6 Voltios, por encima del punto de funcionamiento, y finalmente lo llevamos a un punto cercano al de funcionamiento con un escalón de 3.5 Voltios.

En la figura 11 se observa el siguiente ensayo realizado, subiendo la K_p hasta un valor igual a 10. Se lleva al sistema igual que en el anterior ensayo, dándole dos escalones, de 1 y 5 Voltios, hasta un punto de operación por debajo y por encima al punto de funcionamiento de la planta, se ve que al tener una mayor ganancia responde mejor pero no consigue quitar el error.

Se puede observar que en las veces que lo llevamos a un punto de operación por debajo del de funcionamiento, el sistema se pasa del nivel, y que cuando lo llevamos a un punto de operación superior al punto de funcionamiento, este se queda corto, pero cuando lo llevamos a un punto de operación cercano a nuestro punto de funcionamiento, el sistema si se comporta como queremos. Estos fallos en el régimen permanente se subsanan insertándole al sistema además del controlador proporcional, la parte integral, que de lo que se encarga es de corregir el error que se encuentra entre el punto al que queremos llegar y el punto en el que se encuentra el sistema. Para ello se han realizado varios experimentos con el controlador Proporcional Integral PI.

En los ensayos se observan 3 líneas; la línea verde es el escalón metido (Set Point al que queremos llevar el sistema), la línea azul es el nivel del tanque 2 (entrada al sistema, variable que se desea controlar), y por último, la línea roja es la entrada del caudal de agua al tanque 1 (salida del sistema, variable controlada).

Una vez seleccionada la K_p deseada, pasamos a diseñar el controlador PI para anular el error en régimen permanente, buscando la K_i deseada para el correcto funcionamiento que se busca. Para ello se han hecho 3 ensayos.

En el primer ensayo, que se muestra en la figura 12, donde se le mete un escalón de 4 Voltios y se tiene una K_i igual a 0.0001, con una K_p igual a 2, se aprecia que todavía el término integral no tiene efecto sobre el sistema.

En el siguiente ensayo realizado aumentamos la K_i hasta un valor de 0.0005, manteniendo el valor del escalón, y se aprecia ya un comportamiento de la planta que compensa el error que tendría solo el término proporcional. Se observa en la figura 12.A.

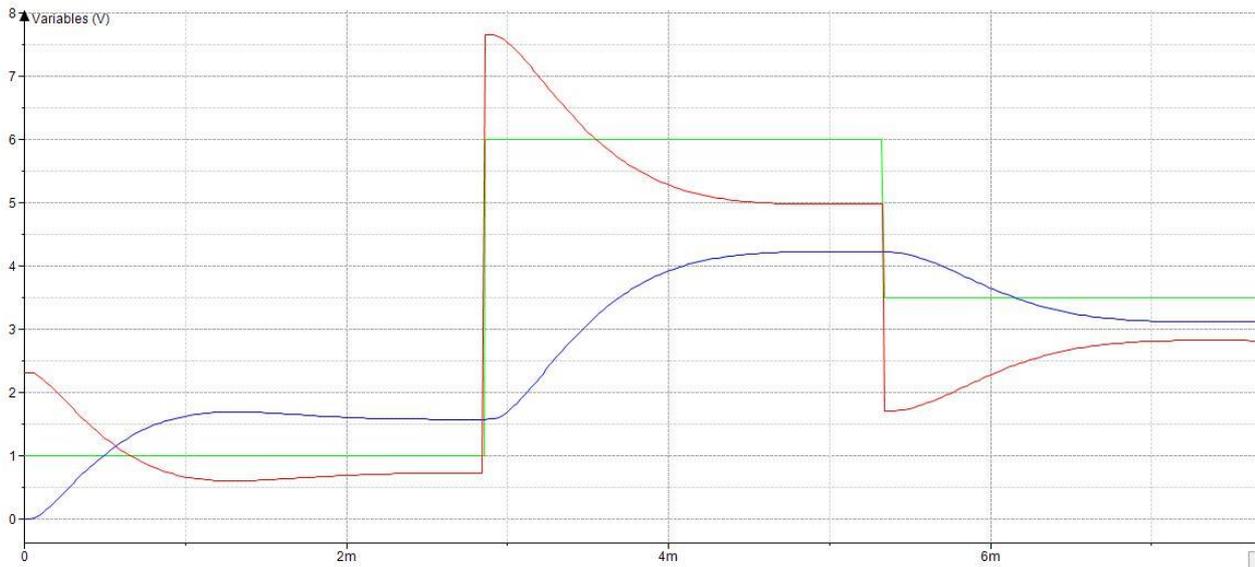


Figura 10. Control de la planta con K_p igual a 1

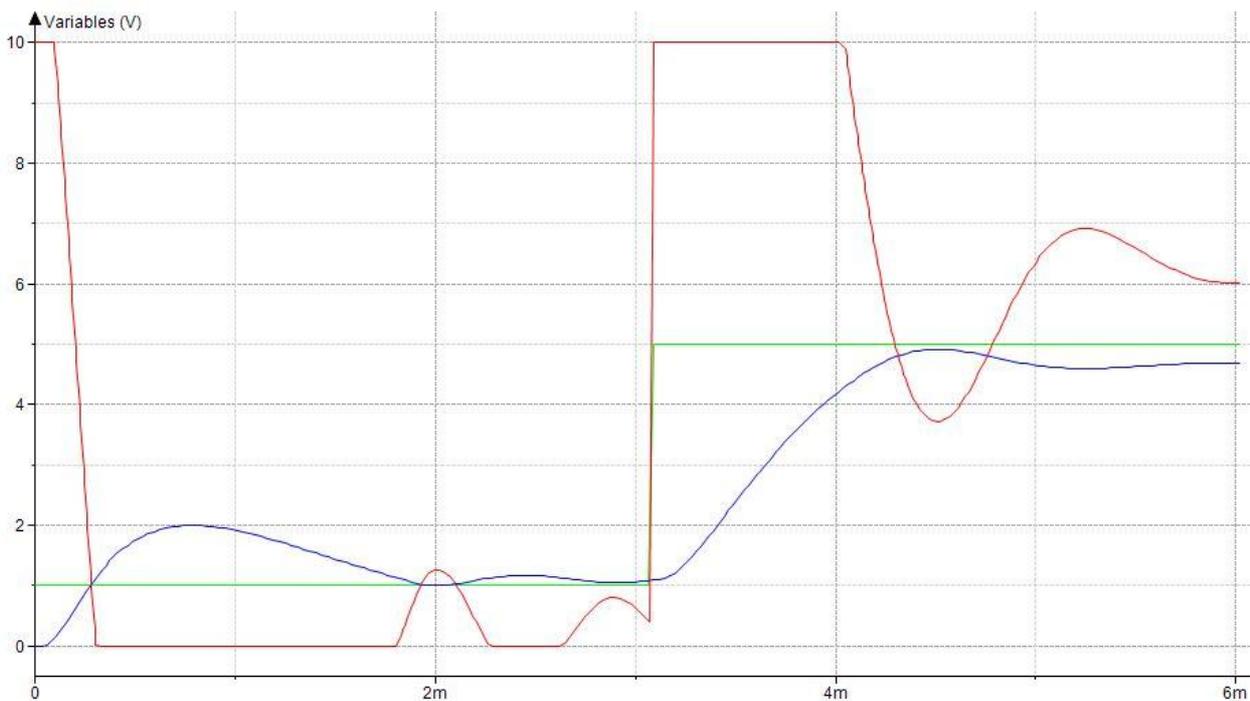


Figura 11. Control de la planta con K_p igual a 10

En el último ensayo aumentamos la K_i hasta un valor de 0.001, teniendo la K_p con un valor igual a 2, manteniendo el escalón, y se observa un control de la planta con sobreoscilación estable. Una vez que la planta se está acercando al punto de operación que queremos, hay que poner el término de la integral del error a cero (esto se correspondería en llevar la planta manualmente hasta un punto cercano al de funcionamiento y una vez ahí se le activa el control de la planta mediante el PI, de lo contrario se volvería inestable la misma).

Se le podría insertar también el término derivativo, para convertirlo en un PID propiamente dicho, que conseguiría que la planta reaccionase de una manera un poco más rápida. En la realidad, en las plantas se suele implementar solo un PI, debido a su facilidad y su buen funcionamiento ya que el término derivativo (K_d) puede a veces volver inestable a la planta.

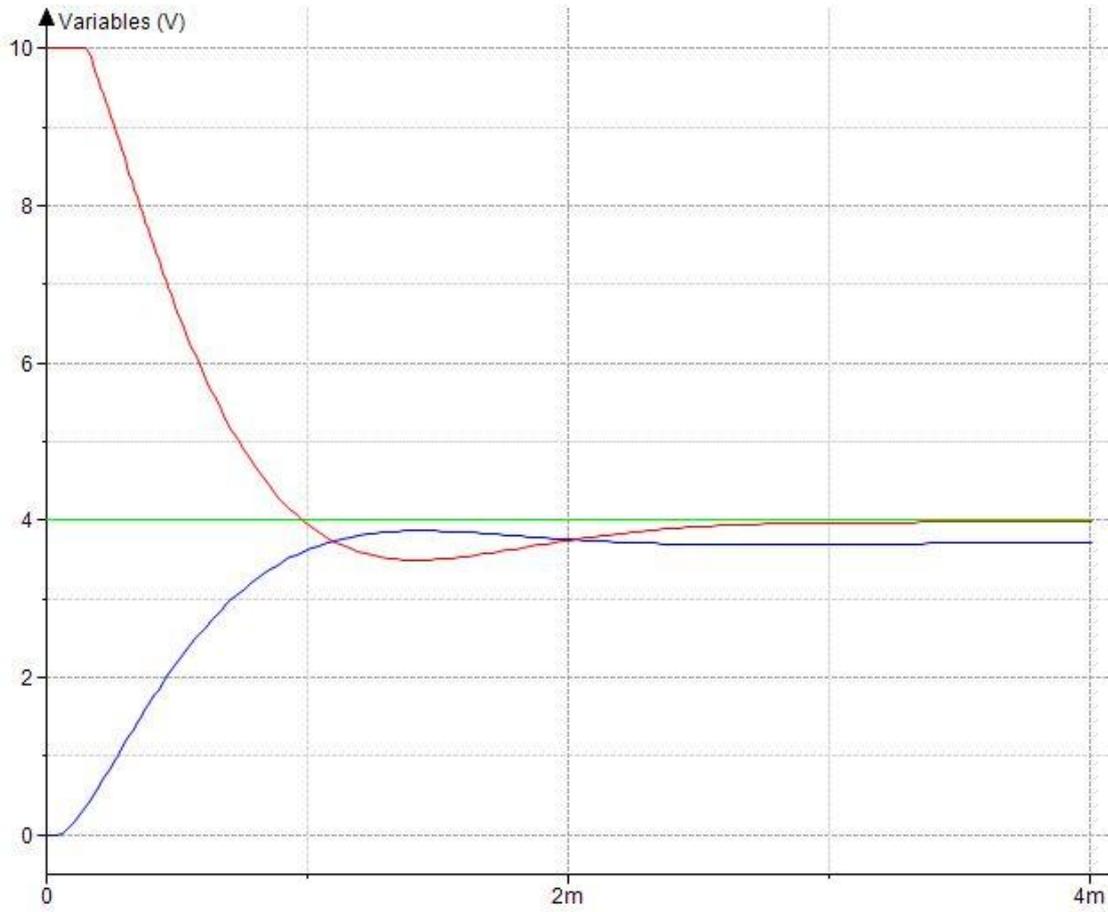


Figura 12. Control de la planta con K_i igual a 0.0001

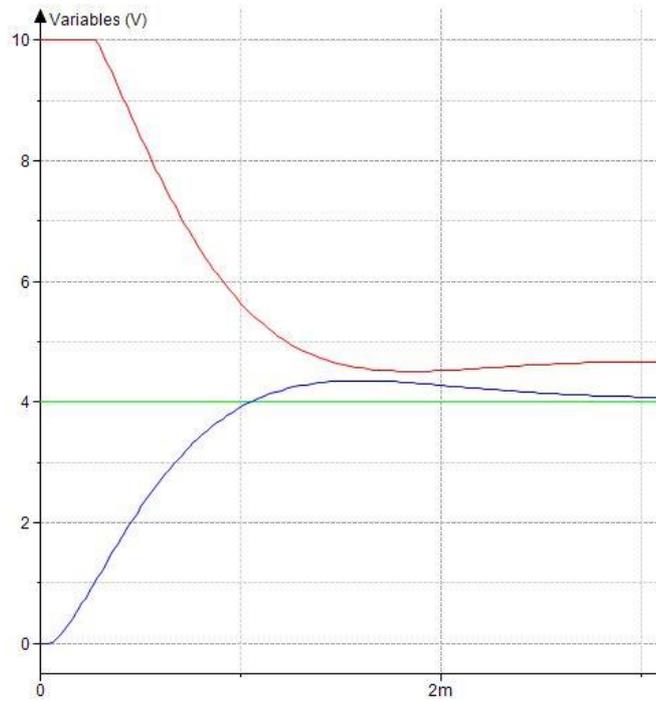


Figura 12.A. Control de la planta con K_i igual a 0.0005

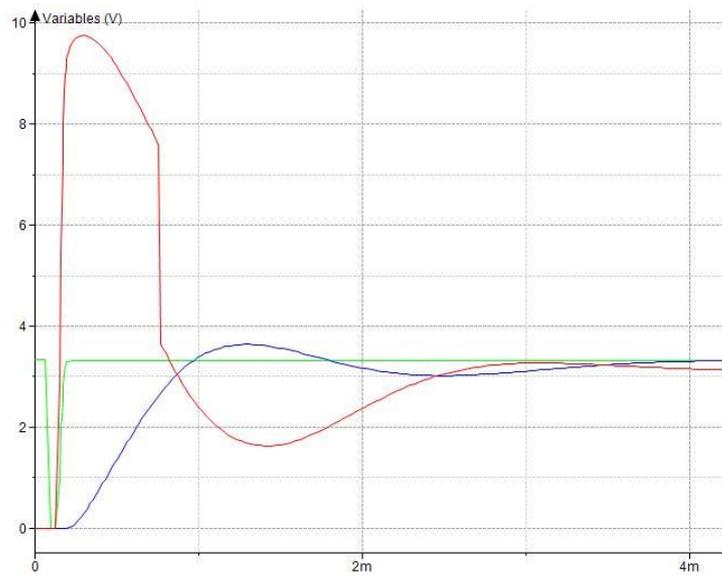


Figura 13. Control de la planta con K_i igual a 0.001

6.3 Almacén Automatizado

En la figura 14 se aprecia la vista general de la planta del ejercicio Almacén Automatizado.



Figura 14. Almacén Automatizado vista general.

6.3.1 Partes

En este ejercicio de un almacén automatizado se encuentran las distintas partes utilizadas para su correcto funcionamiento:

- 3 estantes de almacén.
- 1 grúa apiladora.
- 1 paletizadora.
- 1 brazo pick and place de 2D.
- 2 cintas transportadoras de 4 metros.
- 7 transportadoras de rodillos de 4 metros.
- 3 transportadoras de rodillos de 2 metros.
- 1 transportadora de rodillos de 6 metros.
- 3 cintas giradoras.
- 2 cintas de carga.
- 15 sensores fotoeléctricos.
- 2 sensores retro reflectantes.
- 4 zonas de emisión de piezas.
- 1 zona de recepción de piezas.
- 1 alineadora.
- 1 plataforma.
- 1 cuadro eléctrico.
- 9 botones.
- 1 seta de emergencia.
- 4 interruptor ON/OFF.
- 1 columna de apoyo.
- 28 vallas de seguridad.

6.3.2 Funcionamiento

El funcionamiento general consiste en el almacenamiento automatizado de palets en un almacén de diseño en estanterías, que vienen desde distintas partes de la planta, diferenciando en cada posición del almacén que tipo de palet ha sido introducido.

El funcionamiento de la planta se ha estructurado siguiendo las características de la guía Gemma, donde la primera capa de funcionamiento que encontramos es el *Modo General* de funcionamiento (figura 15).

Dentro del *Modo General* de funcionamiento nos encontramos con los cuatro distintos submodos de funcionamiento que son: *Inicio*, *Func Normal*, *Parada Emergencia* y *Modo Reinicio*.

1. El primer submodo que se encuentra la planta es *Inicio*, que se corresponde cuando la planta acaba de iniciarse y se están inicializando los sensores, cintas y demás partes de la planta.
2. El submodo *Func Normal*, se corresponde cuando la planta funciona de un modo correcto, y se podrían distinguir dos tipos de funcionamiento a su vez, que son:
 - a. El funcionamiento manual, en donde el operario es el que manejaría la totalidad de las cintas, exceptuando las cintas giradoras y el almacén que siguen funcionando de manera automática.
 - b. El funcionamiento automático, en donde la planta funciona por si sola dirigiendo los palets hacia el almacén y almacenándolos automáticamente.
3. Para pasar del submodo *Inicio* al de *Func Normal*, no puede haber ningún error activo, o lo que sería lo mismo, que no esté activada la seta de emergencia, y además se debe pulsar el botón de Start del Panel de Control, para indicar el inicio del funcionamiento de la planta.
4. En el submodo de funcionamiento *Parada de Emergencia*, que se activará cuando se active la seta de emergencia, la estación es parada completamente debido a que supuestamente hay un error en la

planta y ha de ser subsanado.

5. Finalmente, en el submodo *Modo Reinicio*, que será cuando ya se haya subsanado el error, por lo que se habrá desactivado la seta de emergencia, se reiniciarán las máquinas de la planta en caso de que sea necesario. Una vez reiniciada la planta, será pulsado el botón Reinicio y se volverá al inicio del *Modo General* de funcionamiento.
6. A continuación se explicará el funcionamiento de las distintas partes de la planta que son: *Brazo Pick and Place, Paletizadora, Cajones, Almacén, Giradora 1 y Giradora 2.*

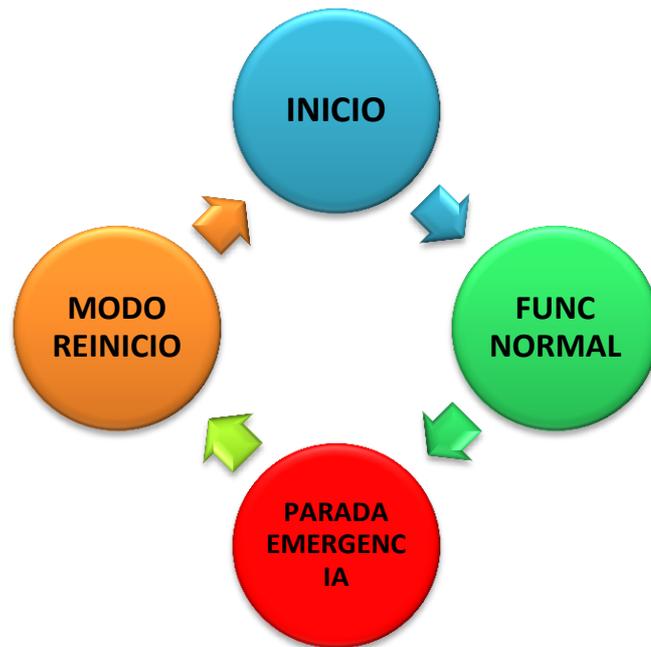


Figura 15. Modo General de funcionamiento Almacén Automatizado

6.3.2.1 Brazo pick and place

En la figura 8 se observa la parte Brazo pick and Place de la planta.

El funcionamiento de esta parte de la planta consiste en la colocación de las piezas que llegan por la cinta transportadora (cinta transportadora de la izquierda de la figura 10) (base de producto verde), en los palets que son emitidos por la cinta transportadora de rodillos (cinta transportadora de rodillos de la derecha de la figura 10), por parte del brazo pick and place de 2D. Las piezas son colocadas en el palet una vez que el mismo se encuentra situado en el sensor de colocación de piezas, que se encuentra al final de la primera cinta transportadora de rodillos de la derecha de la Figura 16.

Una vez que la pieza está colocada sobre el palet, este avanzaría hasta el final de las cintas para situarse a la entrada de la giradora 1 esperando autorización para pasar a través de la misma en dirección al almacén (el funcionamiento de la cinta giradora 1 se explicará en el apartado 6.3.2.3).

El nivel de flujo de piezas y palets que son emitidos va aleatoriamente en un intervalo de entre 40 y 70 segundos cada uno, para así poder reflejar el flujo más inestable que nos podríamos encontrar en una planta.

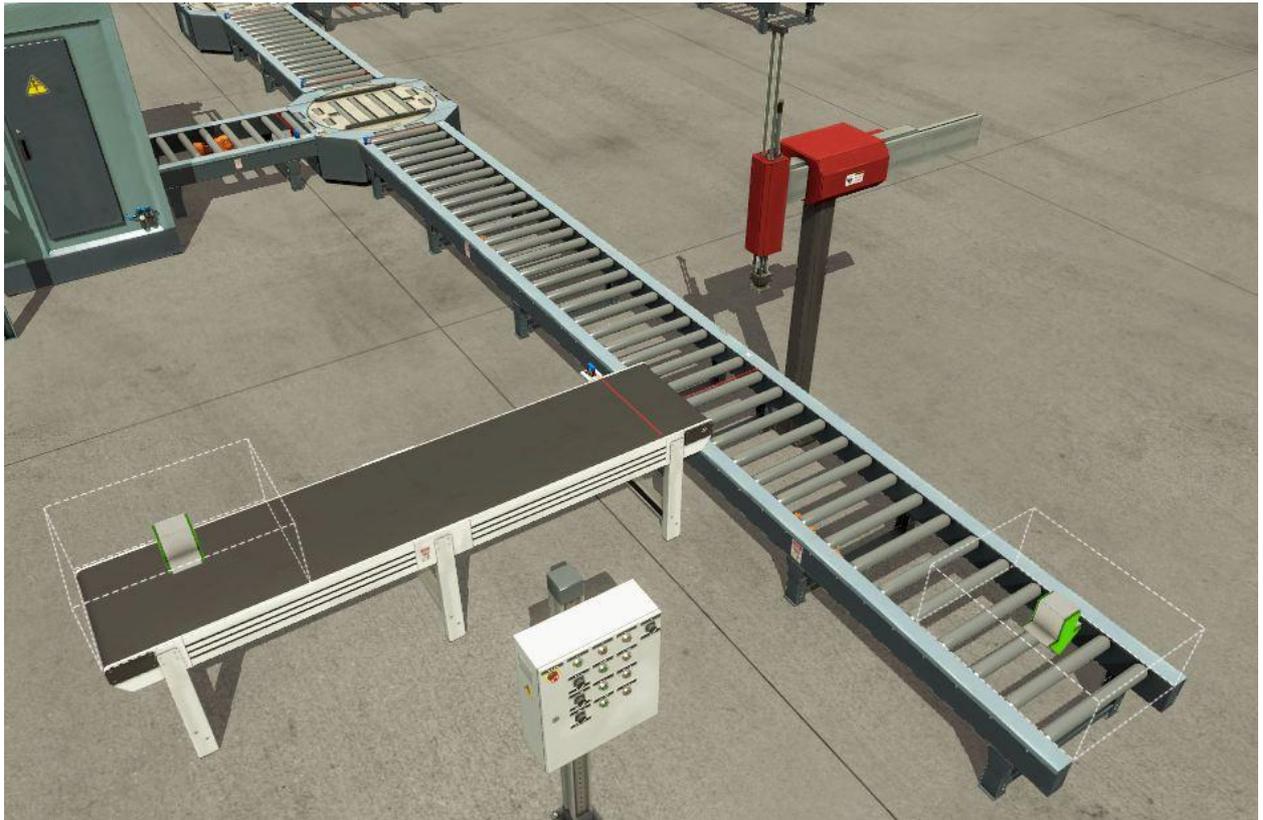


Figura 16. Brazo pick and place almacén automatizado.

6.3.2.2 Paletizadora



Fig. 17. Paletizadora almacén automatizado.

En la figura 17 observamos la paletizadora del almacén automático.

En el funcionamiento de la paletizadora se podrían diferenciar dos partes: la colocación de las cajas para su puesta en los palets, y la colocación de los palets en el ascensor listo para que les sean colocadas las cajas.

- a. En la primera parte, las cajas salen por la cinta transportadora de la parte de arriba de la plataforma, yendo hacia la entrada de la paletizadora, que las apilará en grupos de 6 cajas en dos hileras de 3 cajas cada una. Las cajas para su mayor estabilidad se situarán en los palets siguiendo dos direcciones, posibles gracias a la activación de un brazo mecánico a la entrada de la paletizadora. En las figuras 18 y 19 se puede observar las dos distintas formas de colocación de las cajas de la paletizadora.



Figura 18. Colocación 1 de las cajas de la paletizadora almacén automatizado.



Figura 19. Colocación 2 de las cajas de la paletizadora almacén automatizado.

- b. En la segunda parte, los palets aparecen en la cinta transportadora de rodillos de la parte baja de la paletizadora, dirigiéndose hacia el ascensor que tiene la misma, para colocarlos en la posición para recibir las cajas que acaban de ser apiladas en grupos de 6. En la figura 20 se puede apreciar la colocación de las dos filas de cajas colocadas sobre el palet aún arriba del ascensor.

Una vez que está el palet cargado con las 12 cajas, se dirigirá hacia la entrada de la cinta giradora 1.

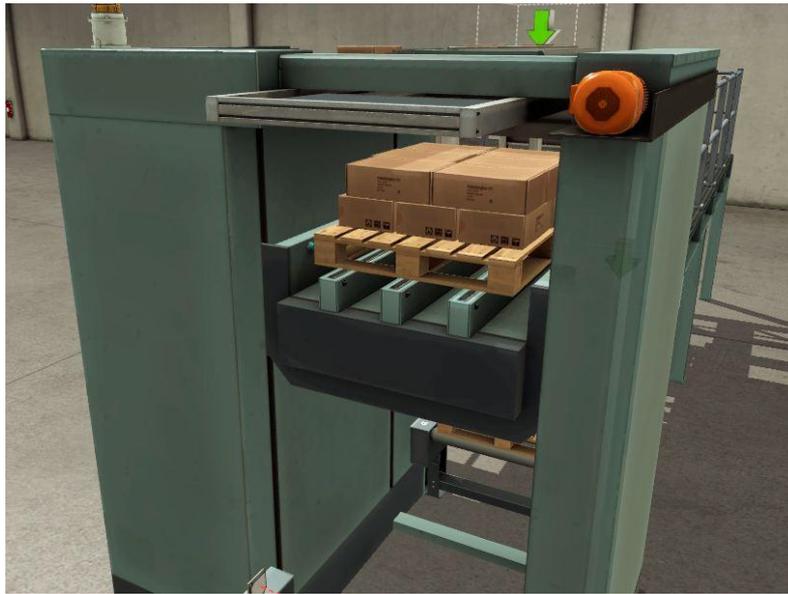


Figura 20. Cajas colocadas sobre el palet del almacén automático.

6.3.2.3 Giradora 1

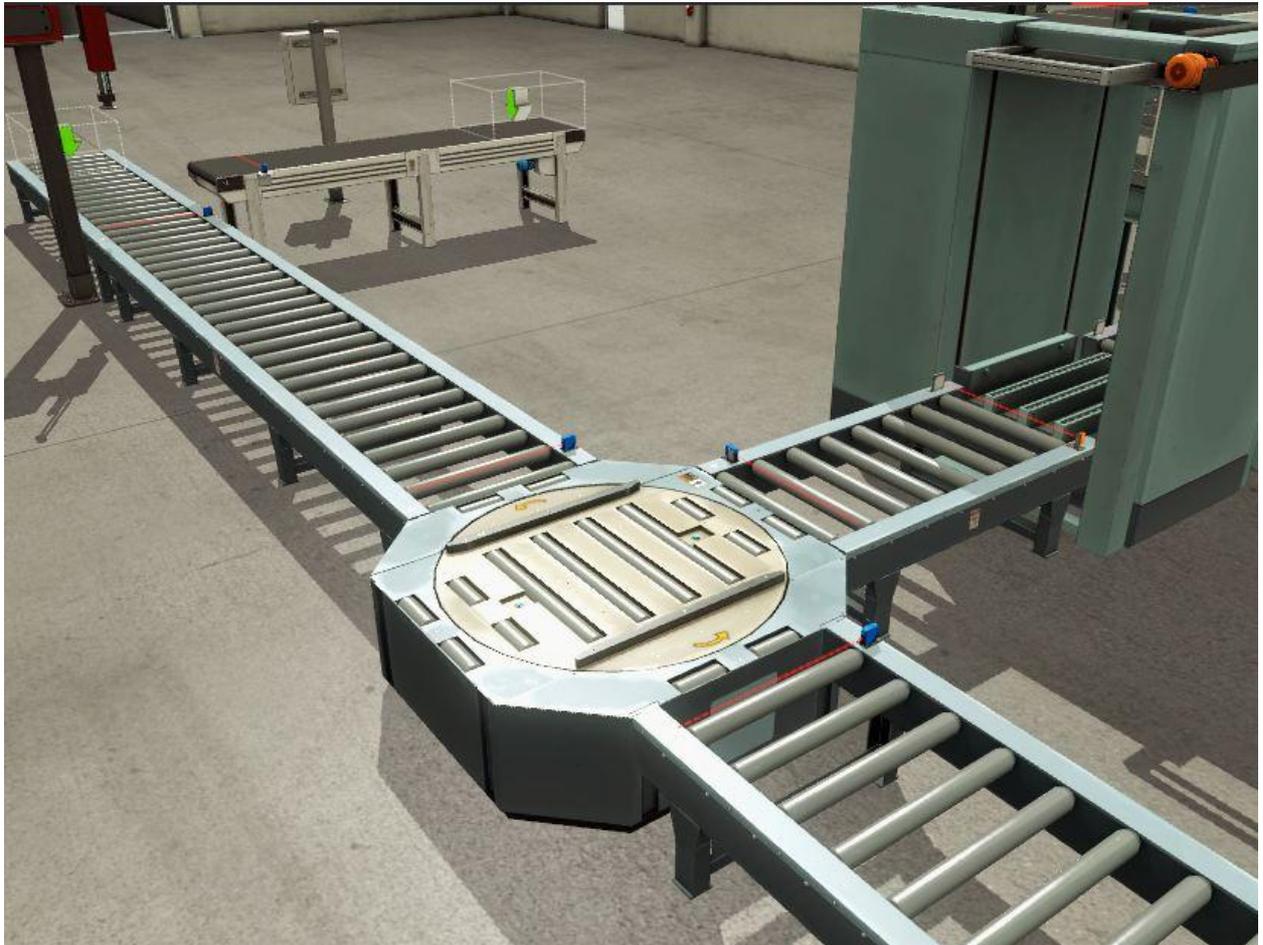


Figura 21. Giradora 1 del almacén automático.

En la figura 21 se observa la giradora 1 del almacén automático al que dan las salidas de la paletizadora y de la cinta de salida de las cajas.

Debido a la poca intensidad con la que salen los palets de la paletizadora en comparación con los palets que vienen de la parte del robot pick and place, a la hora de llegar a la giradora 1, cuando se encuentran los dos a la vez para pedir permiso para entrar, siempre va a tener preferencia los palets que vienen de la paletizadora, de otro modo, si se diera preferencia a los del brazo, se podría dar el caso de que nunca entrasen en la giradora los palets de la paletizadora. En el caso de que se quiera cambiar esa preferencia de entradas, se podría poner fácilmente en modo manual tanto la paletizadora o el brazo pick and place y así controlar que palet se desea que entre en la giradora 1.

6.3.2.4 Cajones

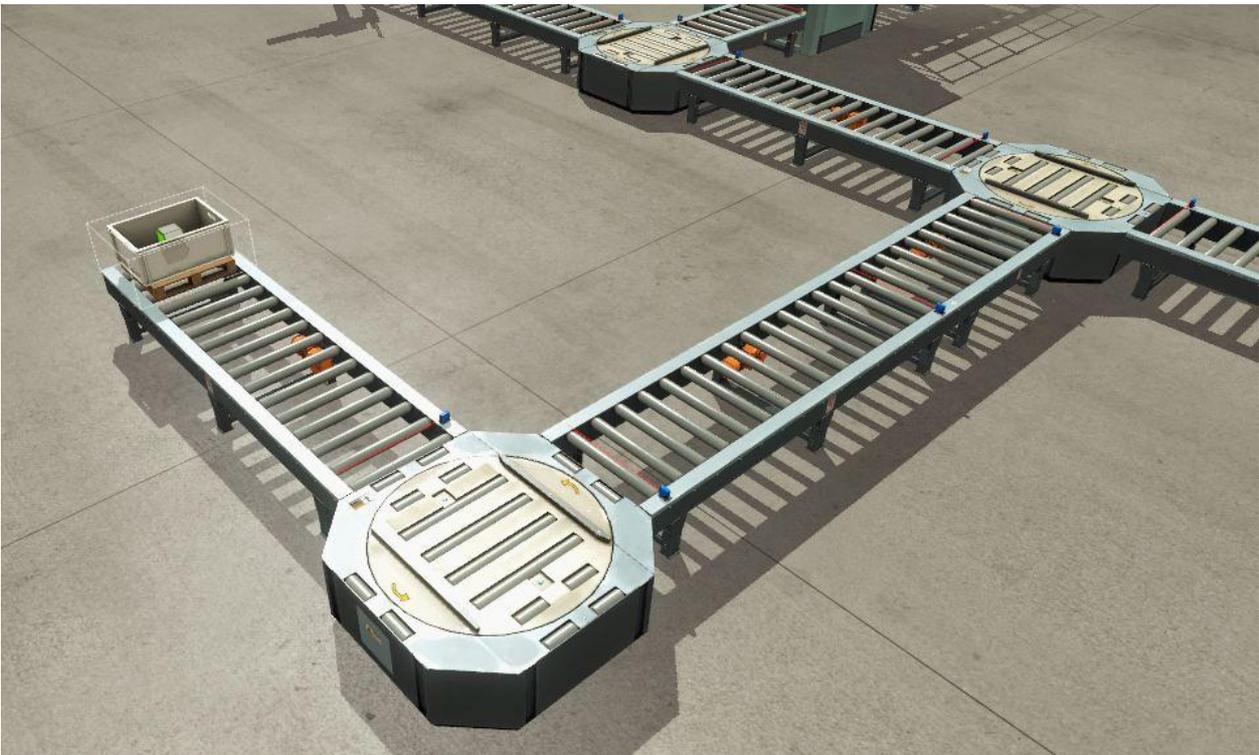


Figura 22. Parte de cajones del almacén automatizado.

En la figura 22 se observa la parte de cajones del almacén automatizado, en el que los cajones que se emiten encima del palet avanzan atravesando una giradora, hasta la entrada de la giradora 2.

En el caso de que el almacén esté lleno o que la giradora 2 este ocupada, los cajones esperarían en los distintos sensores de las cintas, a que la giradora 2 les diese paso para dirigirlos hacia el almacén. Esto se observa en la figura 23.

El nivel de flujo de cajones que son emitidos va aleatoriamente en un intervalo de entre 40 y 70 segundos cada uno, para así poder reflejar el flujo más inestable que nos podríamos encontrar en una planta.



Figura 23. Cajones esperando a que se les ceda el paso para la giradora 2.

6.3.2.5 Giradora 2

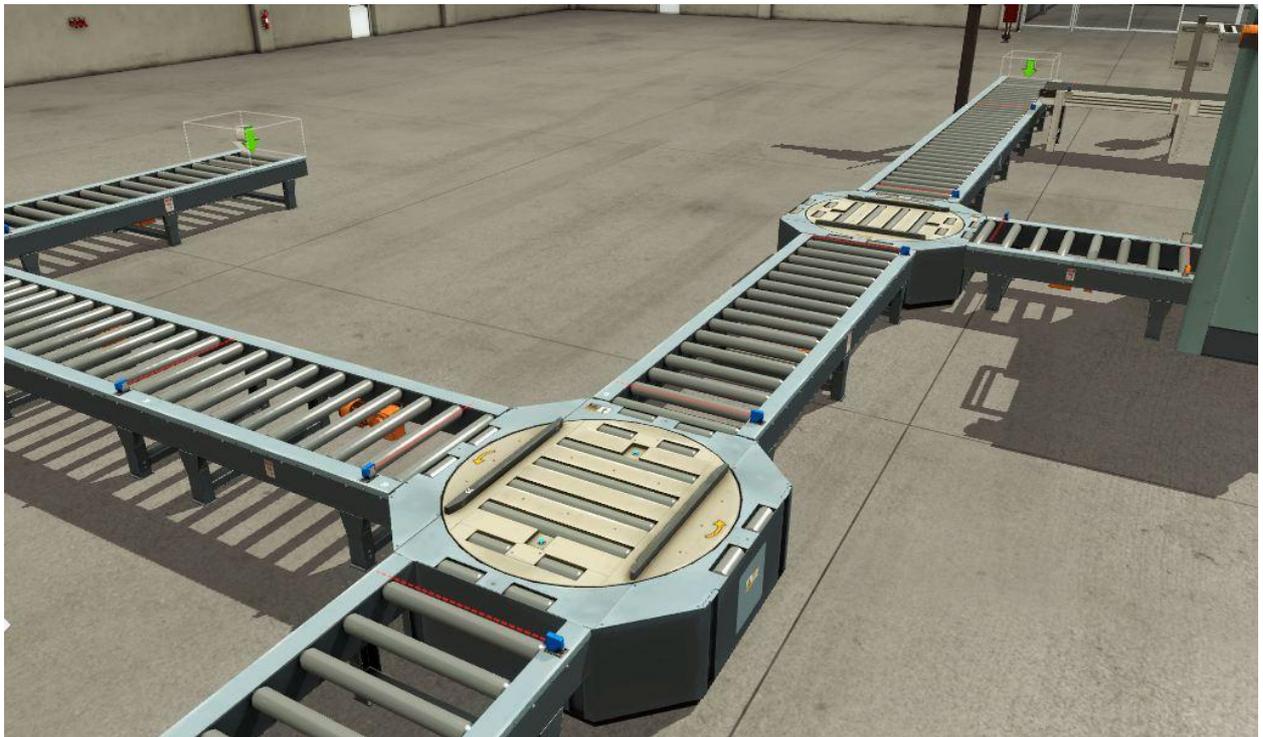


Figura 24. Giradora 2 del almacén automatizado.

En la figura 24 se encuentra la giradora 2, entre medios de la zona de los cajones (parte izquierda de la giradora 2) y la zona de la paletizadora y el brazo pick and place (parte derecha de la giradora 2).

En el caso de que solo llegue un palet a la giradora 2, es ese el que tendrá toda la prioridad de paso a través de la misma, pero si llegasen los dos palets a la vez, el que tiene más preferencia es el que viene desde el lado de la paletizadora y del brazo, ya que por ese lado hay más flujo de palets y por lo tanto para que no se forme un

embotellamiento se les debe dar más prioridad a esos palets. Se podría dar que estuvieran llegando todo el rato palets por lo que no dejarían pasar a ningún palet del lado de los cajones. Para ese caso, la giradora 2 sabe si hay demasiada cola en los cajones por lo que empezaría a dar prioridad también a los cajones para que no estén esperando demasiado tiempo sin poder acceder a su almacenaje.

De otro modo, manualmente también se puede dar prioridad a cualquier de los dos lados poniéndolos en modo manual, tanto los cajones como la cinta que viene de la paletizadora y del brazo, y así el operario podría decidir a quien dar prioridad en ese momento.

6.3.2.6 Cintas de Entrada al Almacén



Figura 25. Cintas de entrada al almacén automatizado.

En la figura 25 se observa las dos cintas que preceden a la cinta de carga del almacén automatizado, en donde los palets esperarán para ser almacenados. Hay 3 posiciones de espera de almacenaje que se aprecian en la figura 26, una ya en la cinta esperando a que la grúa apiladora se lleve el palet hacia el almacén, y dos más en cintas precedentes a la entrada del almacén.



Figura 26. Palets esperando en las cintas para ser almacenados en el almacén automatizado.

6.3.2.7 Almacén Automatizado



Figura 27. Almacén Automatizado.

En la figura 27 nos encontramos el almacén automatizado mediante una grúa apiladora a la entrada de las cintas para recoger los palets que van llegando.

Lo primero que se encuentra a la hora de entrar en el almacén, es un sensor que mide las alturas de los palets

que van llegando (figura 28), para así poder guardar en cada posición del almacén que tipo de palet hay, de manera que en un futuro saber dónde están colocados cada tipo.



Figura 28. Sensor de alturas a la entrada del almacén automatizado.

Los tres tipos de palets que pueden llegar al almacén de las distintas partes de la planta son palets con cajas de la paletizadora, palet con pieza del brazo pick and place y palet con cajón (figuras 29,30 y 31).



Figura 29. Palet con cajas de la paletizadora del almacén automatizado.



Figura 30. Palet con pieza del brazo pick and place del almacén automatizado.

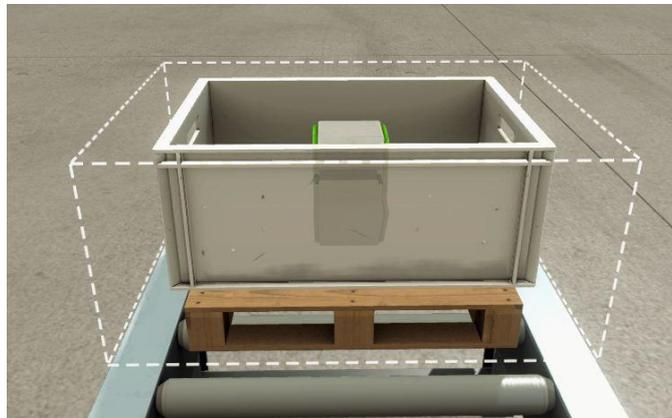


Figura 31. Palet con cajón del almacén automatizado.

El almacén se va a numerar de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, por lo que la primera posición que va a ser ocupada sería la de abajo a la izquierda y así sucesivamente hasta llenar el almacén. En el caso de que se quiera sacar un palet del almacén se ha realizado una visualización tipo SCADA en el Codesys (figura 32) para simular el panel de control que tendría el operario en la planta.

El funcionamiento para sacar palets funcionaría de la manera que siempre tiene prioridad sacar palets antes de entrar para dejar huecos libres para poder ir llenando el almacén, ya que se supone que cuando se le da la orden de sacar un palet es por necesidad de coger lo que contiene en ese momento.

El SCADA contiene un interruptor (activado se movería hacia arriba y desactivado hacia abajo), que nos indicaría que queremos sacar el palet que hayamos señalado en la casilla disponible para escribir. Las luces se activarán dependiendo de si se está sacando un palet o si se está disponible para sacar uno.

Las salidas de los palets se hacen por las cintas de salida detrás del almacén automatizado (figura 33).



Figura 32. Pantalla SCADA para sacar palets del almacén automatizado.



Figura 33. Salida del Almacén automatizado.

6.3.2.8 Tratamiento de Errores

Las distintas partes del almacén automatizado incluyen un tratamiento de errores en caso de fallo durante el procesamiento de los palets. Este tratamiento de errores es distinto para cada parte del almacén como, el brazo pick and place, la paletizadora, o las cintas de los cajones.

El tratamiento de errores consiste en la desactivación de las cintas en el caso de que se detecte un funcionamiento anómalo o distinto al habitual como puede ser el no detectar los palets en el plazo de un determinado tiempo (lo que podría significar la obstrucción de las cintas). Esto se realiza contando los palets que pasan por los sensores, y en caso de falta de detección de los mismos activar la variable error de la parte de la planta donde se haya detectado.

Una vez que se ha detectado un error, se pasará al funcionamiento manual de esa parte del almacén para que los operarios puedan subsanar el error.

En el caso de que el mal funcionamiento de la planta sea demasiado grave, siempre se deberá pulsar la seta de emergencia para que la planta se detenga entera y así evitar posibles daños a las personas o materiales que incurran en un sobrecoste.

6.3.3 Implementación

6.3.3.1 Variables Globales

Las variables globales utilizadas en este ejercicio se van a explicar por cada parte de la planta.

- Brazo Pick and Place

En la tabla 7 se detallan las variables globales utilizadas en la parte del Brazo Pick and Place de la planta y además, en la figura 34 se visualizan las distintas partes que tiene esta parte de la planta, como sus sensores y actuadores.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
iHaycaja	BOOL	Sensor que indica que hay una pieza al final de la cinta transportadora esperando a que el brazo la coja y la coloque en el palet
iMovejex	BOOL	Sensor de que se está moviendo el brazo en el eje x
iMovejez	BOOL	Sensor de que se está moviendo el brazo en el eje z
iCogida	BOOL	Sensor del brazo que indica que tiene cogido algo
iPoscargarpieza	BOOL	Sensor que me indica que hay un palet esperando a que sea cargado con una pieza por parte del brazo
iEntgir1piezas	BOOL	Sensor de que hay esperando un palet para poder entrar en la giradora 1
oCintapalets	BOOL	Actuador de la cinta transportadora de rodillos de entrada de palets
oCintacajas	BOOL	Actuador de la cinta transportadora de entrada de piezas
oCogerpieza	BOOL	Actuador del brazo pick and place que activa la succión para agarrar la pieza
oEjex	BOOL	Actuador para mover el eje x del brazo pick and place
oEjez	BOOL	Actuador para mover el eje z del brazo pick and place

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
oCintasalidapiezas	BOOL	Acuador de la cinta transportadora de rodillos de salida del brazo pick and place
brazocaja	BOOL	Variable interna que indica que puede empezar el movimiento del brazo pick and place para coger la pieza y coocarla en el palet
cajadejada	BOOL	Variable interna que indica que el brazo pick and place ha dejado la pieza en el palet
ErrorCajas	BOOL	Variable interna que indica wue hay algún error en el funcionamiento de esta parte de la planta.

Tabla 7. Variables globales parte Brazo Pick and Place del Almacén Automatizado

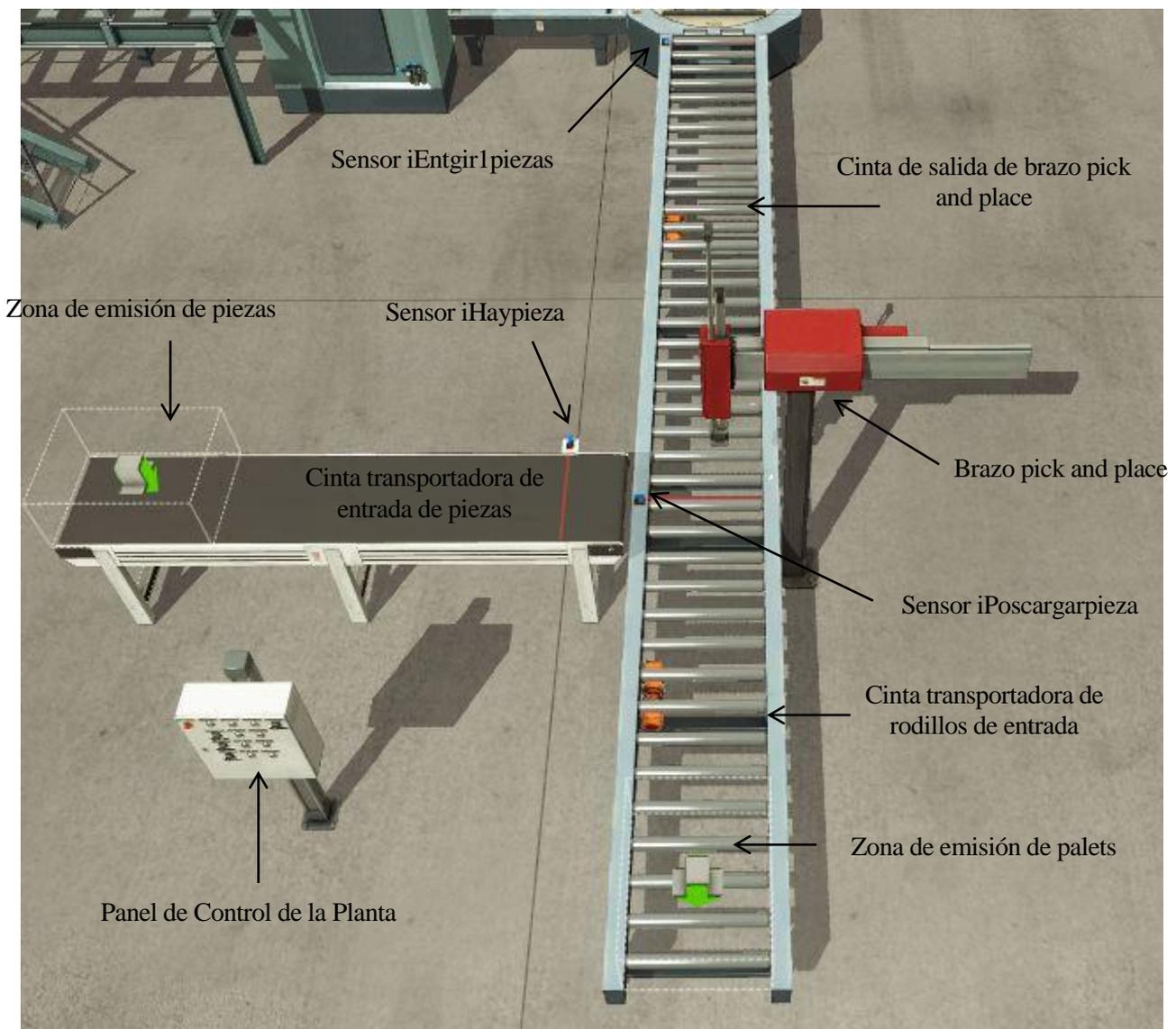


Figura 34. Partes del Brazo Pick and Place del Almacén Automatizado

- Paletizadora

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iBoxatentry	BOOL	Sensor de entrada a la cinta transportadora de la paletizadora
iPushlimit	BOOL	Sensor de final de carrera dek actuador de la palanca que empuja las cajas para su apilacion en la trampilla de la paletizadora
iPlatelimit	BOOL	Sensor de final de carrera de la trampilla de la paletizadora
iClamped	BOOL	Sensor que indica que la palanca que agarra las cajas en la trampilla esta activada
iPaletatentry	BOOL	Sensor de entrada de los palets en el ascensor de la paletizadora
iElevatormoving	BOOL	Sensor que indica que el ascensor está moviendose
iPaletloaded	BOOL	Sensor del ascensor de la paletizadora que indica que el palet está en la posición correcta
iPaletatexit	BOOL	Sensor de salida de la paletizadora
iEntgir1paletizadora	BOOL	Sensor de entrada a la giradora 1 que indica que hay un palet procedente de la paletizadora esperando entrar
iPaletCargado	BOOL	Variable interna que inidica que el palet ha sido cargado con las 12 cajas correctamentre
Inpaletizadora	BOOL	Variable interna que me indica que el palet procedente de la paletizadora que está esperando en el sensor iEntgir1paletizadora puede entrar en la giradora 1
oBoxfeeder	BOOL	Actuador que maneja la cinta transportadora de cajas de la paletizadora
oTurn	BOOL	Actuador que me activa el brazo de la paletizadora para girar las cajas de sentido
oPush	BOOL	Actuador que me mueve la palanca para apilar las cajas en la trampilla de la paletizadora
oLoadbelt	BOOL	Actuador que mueve la cinta transportadora de la paletizadora
oOpenplate	BOOL	Actuador que abre la trampilla de la paletizadora
oClamp	BOOL	Actuadora que activa la palanca para agarrar las cajas que están sobre la trampilla de la paletizadora
oCintapalets paletizadora	BOOL	Actuador que maneja la cinta transportadora de rodillos de entrada de palets de la paletizadora
oMovetolimit	BOOL	Actuador del ascensor que si está a TRUE indica que el ascensor se mueve hacia arriba del todo o hacia abajo del todo dependiendo de a donde se indique

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
oElevatorup	BOOL	Actuador que mueve el ascensor de la paletizadora un movimiento hacia arriba
oElevatordown	BOOL	Actuador que mueve el ascensor de la paletizadora un movimiento hacia abajo
oLoadpalet	BOOL	Actuador que mueve la cinta del ascensor de la paletizadora para cargar/descargar el palet
oCintaSalidaPaletiz	BOOL	Actuador que mueve la cinta transportadora de rodillos de salida de la paletizadora
ErrorPalet	BOOL	Variable interna que indica que hay un error en el funcionamiento de la paletizadora

Tabla 8. Variables globales de la paletizadora del Almacén Automatizado

En la tabla 8 se encuentran las variables globales de la parte de la paletizadora de la planta del almacén automatizado.

En la figura 35 y 36 se encuentran los distintos sensores y cintas y demás partes de la parte de arriba de la paletizadora, en donde las cajas son apiladas en bloques de 6 cajas para ser colocadas en los palets.

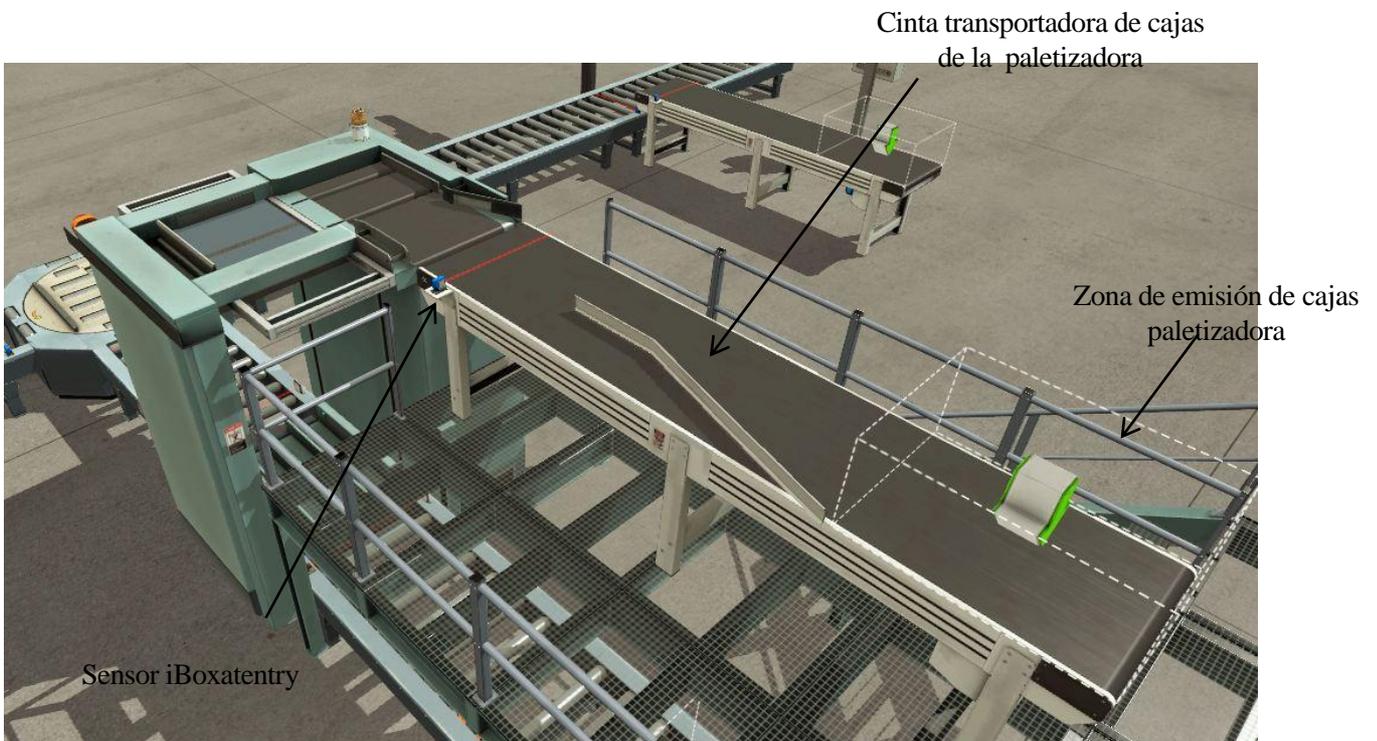


Figura 35. Parte de arriba 1 de la paletizadora del Almacén Automatizado



Figura 36. Parte de arriba 2 de la paletizadora del Almacén Automatizado

En la figura 37 se encuentran señaladas las distintas cintas, sensores y otros actuadores de la parte de debajo de la paletizadora de la planta del almacén automatizado. Ahí las los palets entran en el ascensor, que suben por el mismo para que les sean colocadas las cajas, y una vez puestas se van por la cinta transportadora de rodillos de salida de la paletizadora.

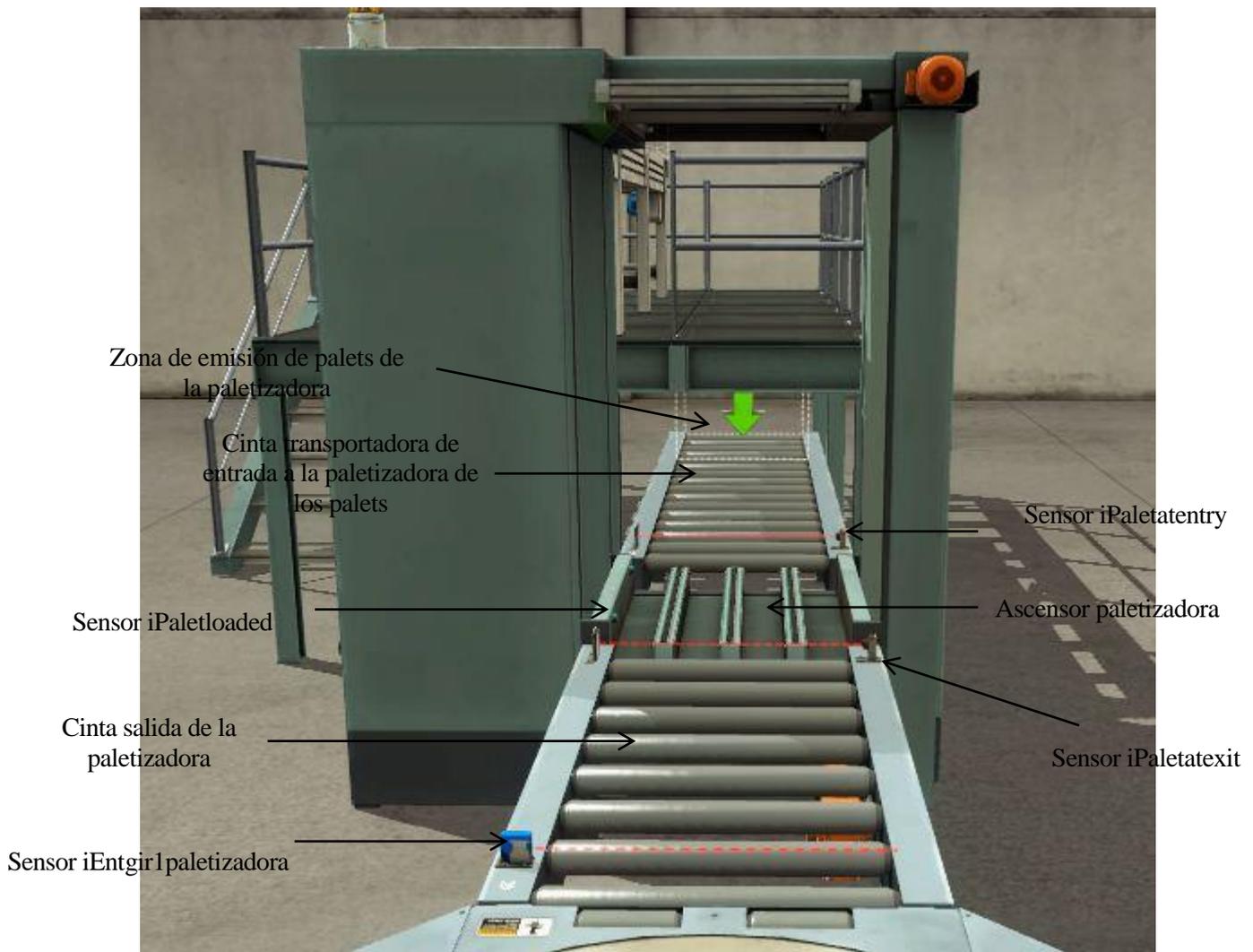


Figura 37. Parte de debajo de la paletizadora del Almacén Automatizado

- Giradora 1

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iLimite90gir1	BOOL	Sensor que indica que se ha llegado al final de carrera del giro de la cinta giradora 1
iLimite0gir1	BOOL	Sensor que indica que la cinta giradora 1 está en la posición normal
iFrontlimitgir1	BOOL	Sensor que indica que el palet está correctamente cargado en la cinta giradora 1
iSalidagir1	BOOL	Sensor de salida de la cinta giradora 1
oGirogir1	BOOL	Actuador que activa el giro de la cinta giradora 1

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
oAdelantegir1	BOOL	Actuador que activa la cinta transportadora que contiene la cinta giradora 1
Inbrazo	BOOL	Variable interna que indica que tienen preferencia para entrar los palets que vienen de la parte del brazo pick and place

Tabla 9. Variables globales de la cinta giradora 1 del Almacén Automatizado

En la tabla 9 se encuentran las variables globales utilizadas en la parte de la cinta de la giradora 1 del almacén automatizado, en donde se tienen tanto sensores como actuadores de las cintas además de variables internas necesarias para el correcto funcionamiento de la cinta giradora.

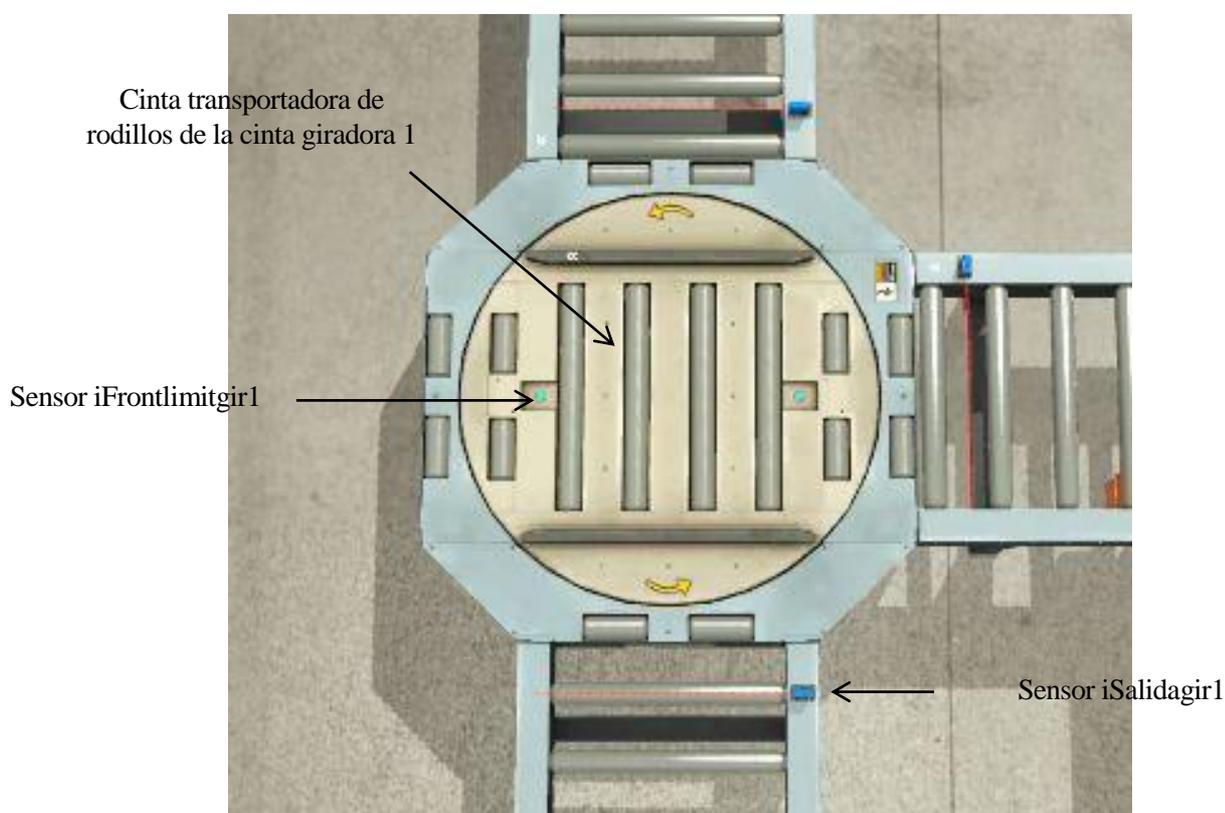


Figura 38. Partes de la cinta giradora 1 del Almacén Automatizado

En la figura 38 se encuentran señaladas las distintas partes de la cinta giradora 1, tanto sensores como cintas de la giradora.

- Cajones

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iEntradagir3	BOOL	Sensor de entrada de la cinta giradora 3
iBacklimitgir3	BOOL	Sensor que indica que el palet ha empezado a cargarse en la cinta giradora 3

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iFrontlimitgir3	BOOL	Sensor que indica que el palet está correctamente cargado en la cinta giradora 3
iLimite90gir3	BOOL	Sensor que indica que se ha llegado al final de carrera del giro de la cinta giradora 3
iSalidagir3	BOOL	Sensor de salida de la cinta giradora 3
iEntradacintgir2	BOOL	Sensor que indica que hay un palet listo para entrar en la cinta transportadora de rodillos que precede a la cinta giradora 2
iEntradagir2B	BOOL	Sensor que indica que hay un palet listo para entrar en la cinta giradora 2 desde el lado de los cajones
iLimite0gir3	BOOL	Sensor que indica que la cinta giradora 3 está en la posición normal
Incajones	BOOL	Variable interna que indica que puede entrar el palet que está esperando de la parte de los cajones en la cinta giradora 2
oCintacajones	BOOL	Actuador que maneja la cinta transportadora de rodillos de inicio de la parte de cajones
oGirogir3	BOOL	Actuador que activa el giro de la cinta giradora 3
oAdelantegir3	BOOL	Actuador que activa la cinta transportadora que contiene la cinta giradora 3
oSalidacajonesgir3	BOOL	Actuador que maneja la cinta transportadora de rodillos que sale de la cinta giradora 3
oCintaentgir2	BOOL	Actuador que maneja la cinta transportadora de rodillos para entrar en la cinta giradora 2
ErrorCajones	BOOL	Variable interna que indica que hay algún error de funcionamiento de la parte de cajones del almacén automatizado

Tabla 10. Variables globales de la parte de los cajones del Almacén Automatizado

En la tabla 10 se encuentran las variables globales de la parte de cajones del almacén automatizado que corresponden con los distintos sensores y actuadores de las cintas que tiene esa parte, además de distintas variables auxiliares que se han creado para el correcto funcionamiento de esa parte de la planta.

En la figura 39 se detallan las distintas partes, entre sensores y cintas, de la parte de cajones del almacén automatizado para su mejor comprensión del funcionamiento.

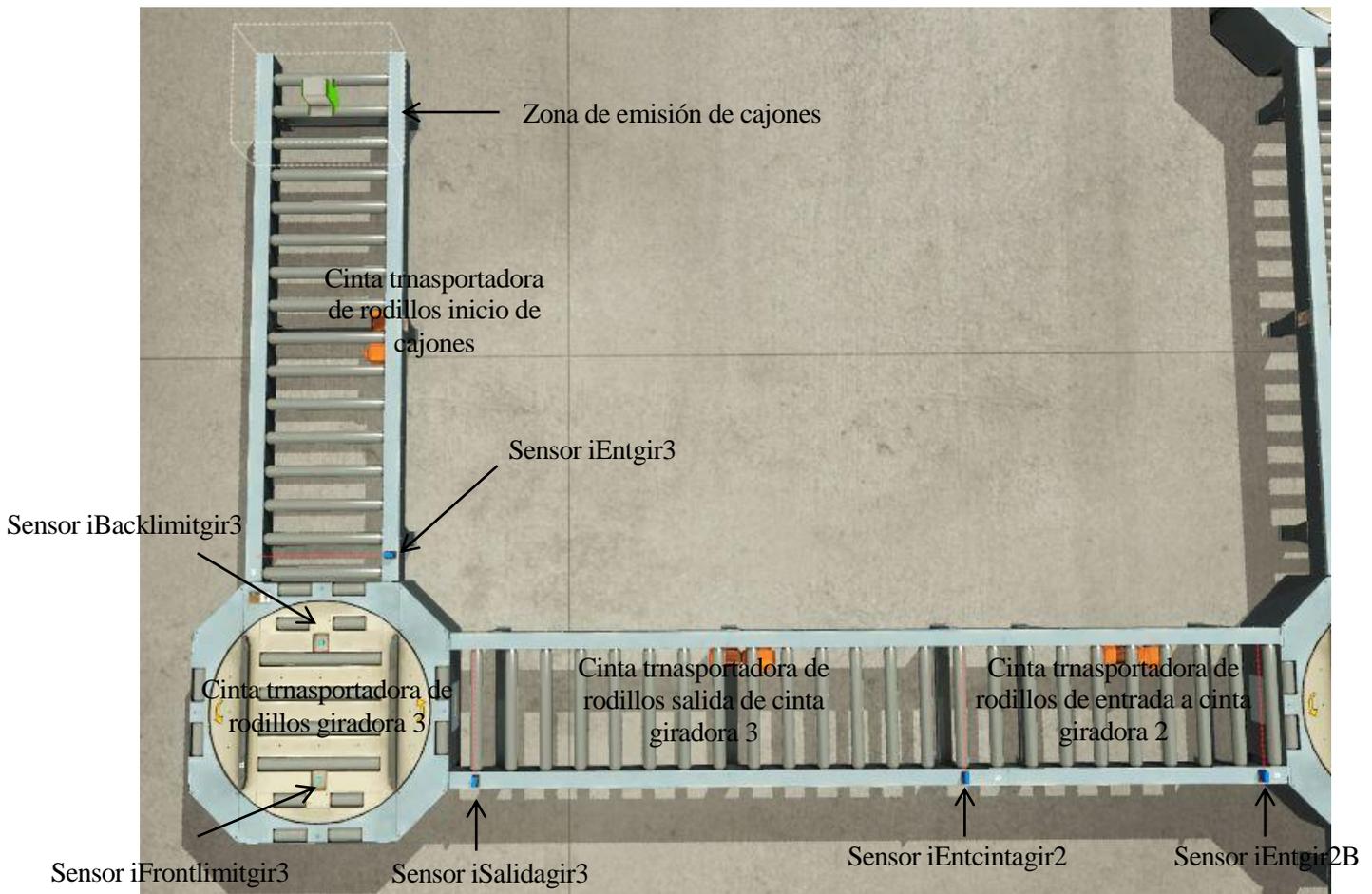


Figura 39. Partes de los cajones del Almacén Automatizado

- Giradora 2

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iLimite90gir2	BOOL	Sensor que indica que se ha llegado al final de carrera del giro de la cinta giradora 2
iLimite0gir2	BOOL	Sensor que indica que la cinta giradora 2 está en la posición normal
iFrontlimitgir2	BOOL	Sensor que indica que el palet está correctamente cargado en la cinta giradora 2
iSalidagir2	BOOL	Sensor de salida de la cinta giradora 2
iEntgir2A	BOOL	Sensor que indica que hay un palet esperando a entrar en la cinta giradora 2 del lado de la paletizadora y del brazo
InA	BOOL	Variable interna que da permiso a entrar al palet que esté esperando en el sensor iEntgir2A
preferenciacajones	BOOL	Variable interna que da preferencia de paso a los palets que vengan del lado de los cajones

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
oGirogir2	BOOL	Actuador que activa el giro de la cinta giradora 2
oAdelantegir2	BOOL	Actuador que activa la cinta transportadora que contiene la cinta giradora 2
oCintasalA	BOOL	Actuador que maneja la cinta que hay entre la cinta giradora 1 y la cinta giradora 2

Tabla 11. Variables globales de la cinta giradora 2 del Almacén Automatizado

En la tabla 11 tenemos las distintas variables globales de los sensores y actuadores que hay en la cinta giradora 2, además de las distintas variables que se han necesitado crear para el correcto funcionamiento de esta parte de la planta.

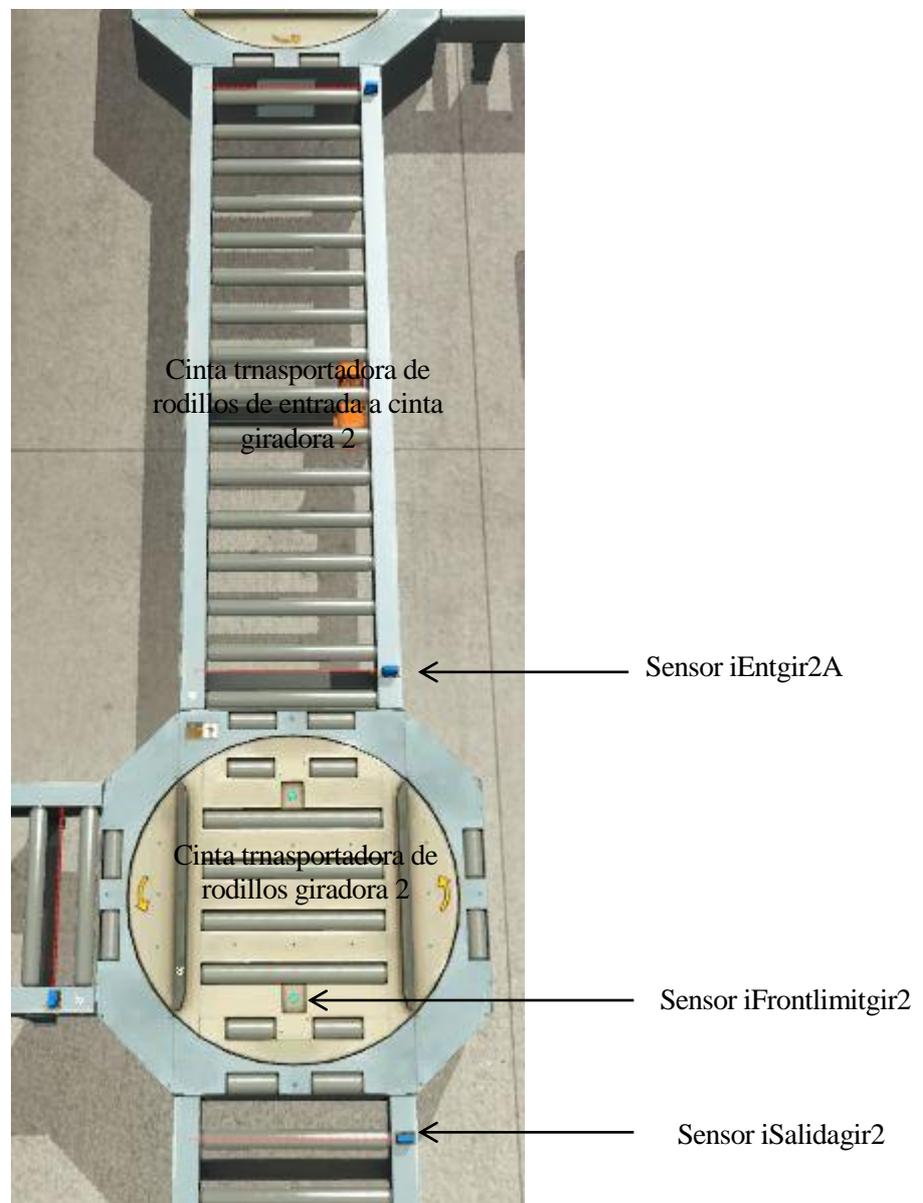


Figura 40. Partes de la Cinta giradora 2 del Almacén Automatizado

En la figura 40 se encuentran las distintas partes de la cinta giradora 2, como los sensores y cintas de las que

dispone.

- Cintas entrada Almacén Automatizado

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iEntcintaesperaalm	BOOL	Sensor que indica que hay un palet esperando en la posición de espera 3 para entrar en el almacén automatizado, que es en la cinta transportadora de rodillos que sale de la cinta giradora 2
iEntcintaalm	BOOL	Sensor que indica que hay un palet esperando en la posición de espera 2, que es en la cinta transportadora de rodillos precedente a la cinta de carga del almacén
iEntAlmacen	BOOL	Sensor que indica que hay un palet esperando a ser almacenado en el almacén
iSensorAlt0	BOOL	Sensor de entrada al almacén automatizado para indicar que tipo de palet está entrando. Este sensor marca que está entrando un palet de la parte del brazo pick and place
iSensorAlt2	BOOL	Sensor de entrada al almacén automatizado para indicar que tipo de palet está entrando. Este sensor marca que está entrando un palet de la parte de la paletizadora
iSensorAlt3	BOOL	Sensor de entrada al almacén automatizado para indicar que tipo de palet está entrando. Este sensor marca que está entrando un palet de la parte de los cajones
oCintasalgr2	BOOL	Actuador que maneja la cinta transportadora de rodillos de salida de la cinta giradora 2
oCintaEsperaAlm	BOOL	Actuador que maneja la cinta transportadora de rodillos de espera precedente a la cinta de entrada del almacén
oCintaEntAlm	BOOL	Actuador que maneja la cinta de carga del almacén automatizado
ErrorResto	BOOL	Variable interna que indica que hay algún fallo de funcionamiento en esta parte de la planta

Tabla 12. Variables globales de las cintas de entrada al Almacén Automatizado

En la tabla 12 se encuentran las variables globales utilizadas en la parte de las cintas de entrada al almacén automatizado, que se corresponden con los distintos sensores y actuadores de las cintas que hay en esa parte de la planta, además de variables creadas necesarias para el correcto funcionamiento de la planta.

En la figura 41 se encuentran señaladas las distintas partes, sensores y cintas, de la zona de las cintas de entrada al almacén automatizado.

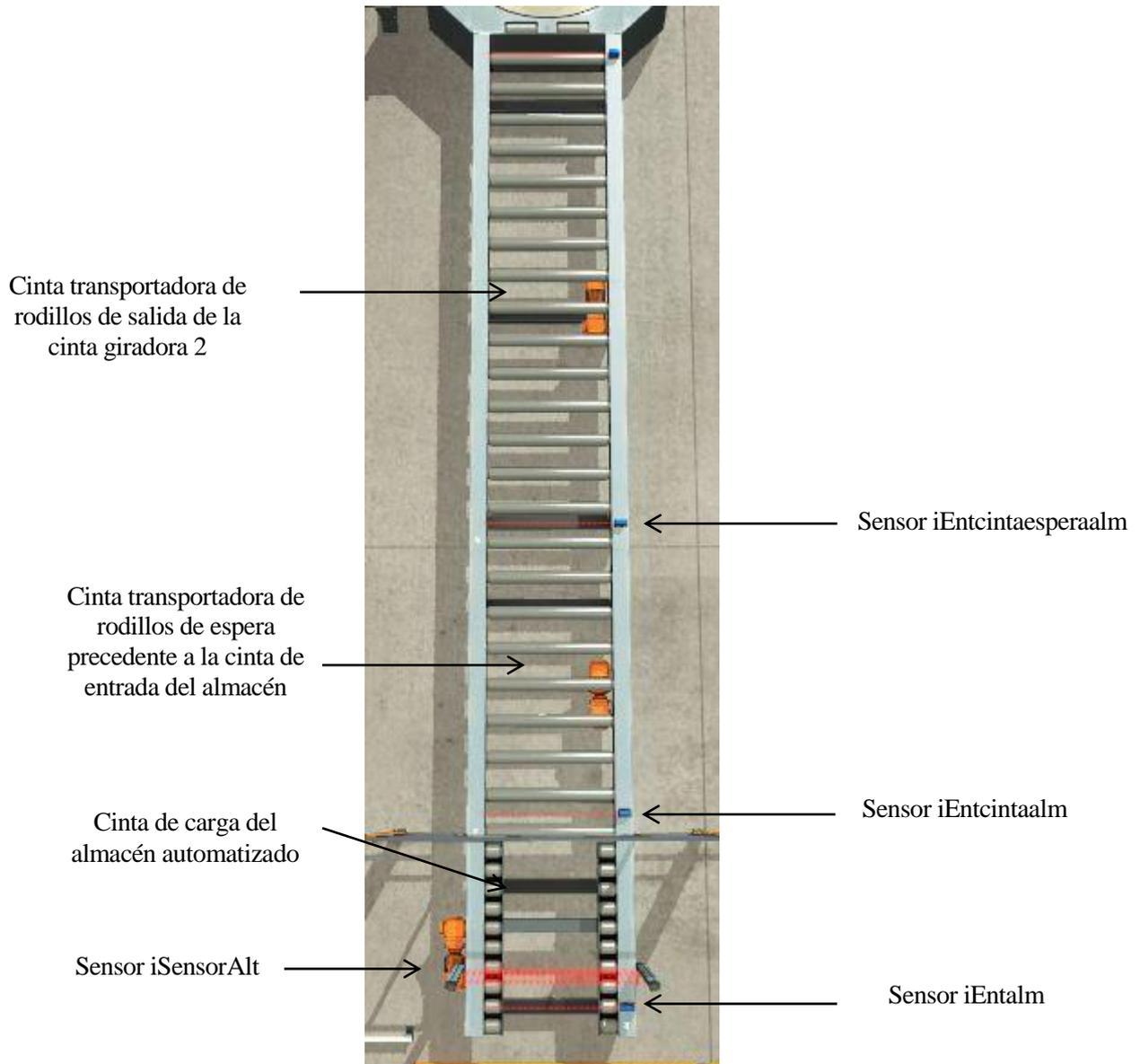


Figura 41. Partes de las cintas de entrada al Almacén Automatizado

- Almacén Automatizado

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iLimiteMedio	BOOL	Sensor que indica que la grúa del almacén está en la posición normal de en medio
iLimiteDescarga	BOOL	Sensor que indica que la grúa del almacén está en la posición de final de carrera descarga de palets
iLimiteCarga	BOOL	Sensor que indica que la grúa del almacén está en la posición de final de carrera de cargar palets
iMovElevador	BOOL	Sensor que indica que la grúa del almacén se está moviendo en vertical para elevar los palets

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iMovPos	BOOL	Sensor que indica que la grúa del almacén se está moviendo hacia la posición indicada del almacén
oCargaEntrada	BOOL	Actuador de la grúa para ir a la posición de cargar palets
oDejaCarga	BOOL	Actuador de la grúa para ir a la posición de descargar palets
oElevadorCarga	BOOL	Actuador de la grúa del almacén para elevar la grúa con los palets
oPosicion	WORD	Variables donde se dice a la grúa a que posición debe ir del almacén
oCintaSalAlm	BOOL	Actuador que maneja la cinta de descarga del almacén
oCintaSal	BOOL	Actuador que maneja la cinta de salida del almacén automatizado
matriz	ARRAY[1..6,1..9] OF INT;	Variable interna que contiene la matriz con las posiciones que están ocupadas y que tipo de palets tienen en ellas
matrizpos	ARRAY[1..6,1..9] OF WORD;	Variable interna que contiene la matriz con el número de cada posición del almacén
x	INT	Variable interna para cálculos
y	INT	Variable interna para cálculos
z	INT	Variable interna para cálculos
unavez	BOOL	Variable interna para cálculos
k	WORD	Variable interna para cálculos
huecoencontrado	BOOL	Variable interna que indica que se ha encontrado un hueco libre en el almacén
Comprobarhuecolibre	BOOL	Variable interna que se activa cuando hay un palet esperando en el sensor iEntalm esperando a ser almacenado para comprobar si hay algún hueco libre en el almacén
irhueco	BOOL	Variable interna para indicar a la grúa que puede ir al hueco encontrado
vuelveinicio	BOOL	Variable interna para indicar a la grúa que vuelva a la posición inicial
ErrorAlm	BOOL	Variable interna que indica que hay algún error

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
botonsacarpalet	BOOL	Variable que controla el botón del SCADA para indicar que se quiere sacar un palet del almacén
numsacarpalet	WORD	Variable que contiene la posición del palet que se quiere sacar
sacarpalet	BOOL	Variable interna que indica a la grúa que vaya a sacar el palet ordenado
paletsacado	BOOL	Variable interna que indica que se ha sacado el palet con éxito
sacandopalet	BOOL	Variable interna que indica que el palet está siendo sacado

Tabla 13. Variables globales del Almacén Automatizado

En la tabla 13 se encuentran las variables globales que se corresponden con los sensores y actuadores de todas las partes del almacén automatizado, además de todas las variables necesarias para hacer funcionar la planta.

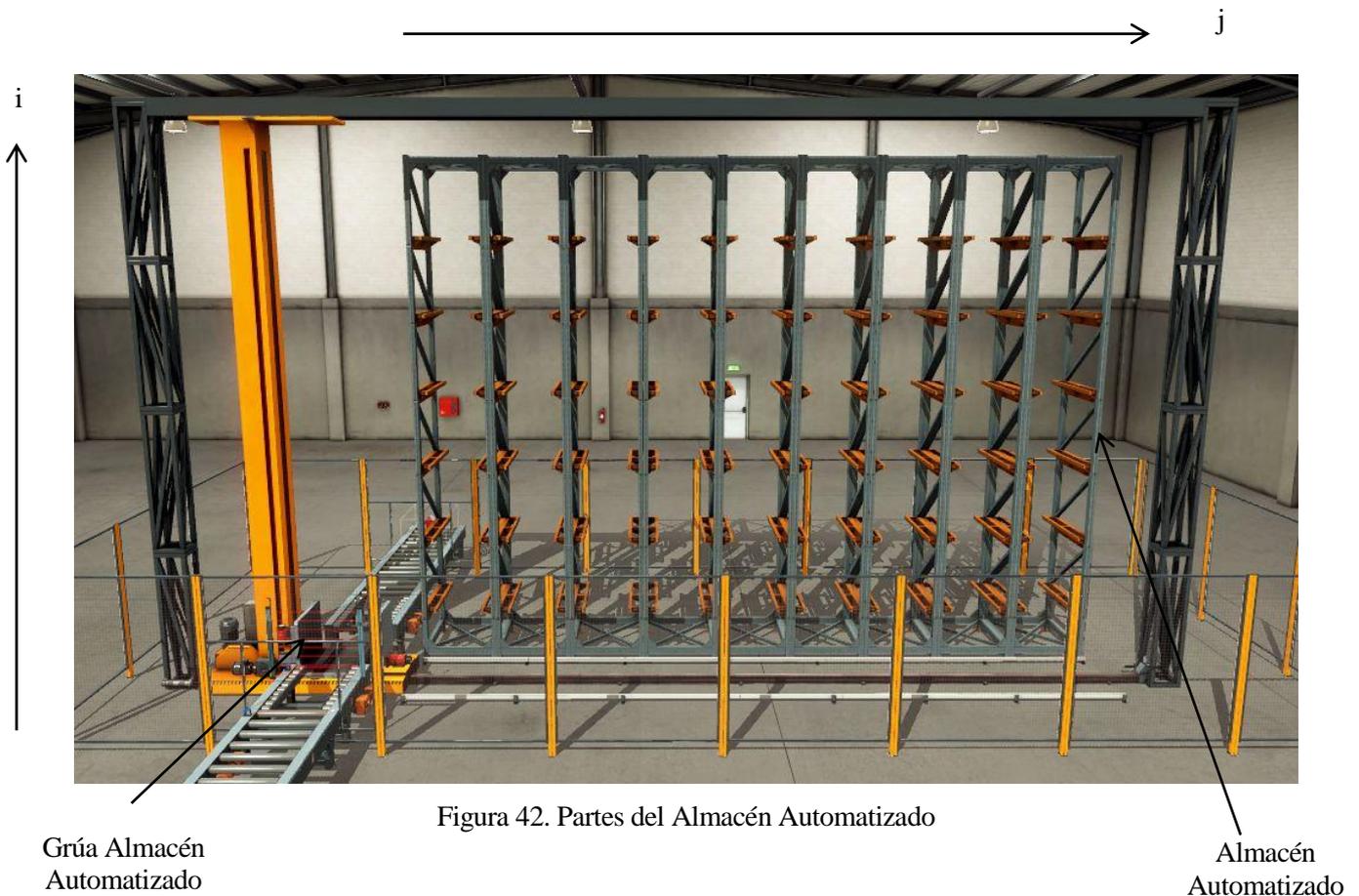


Figura 42. Partes del Almacén Automatizado

Grúa Almacén
Automatizado

Almacén
Automatizado

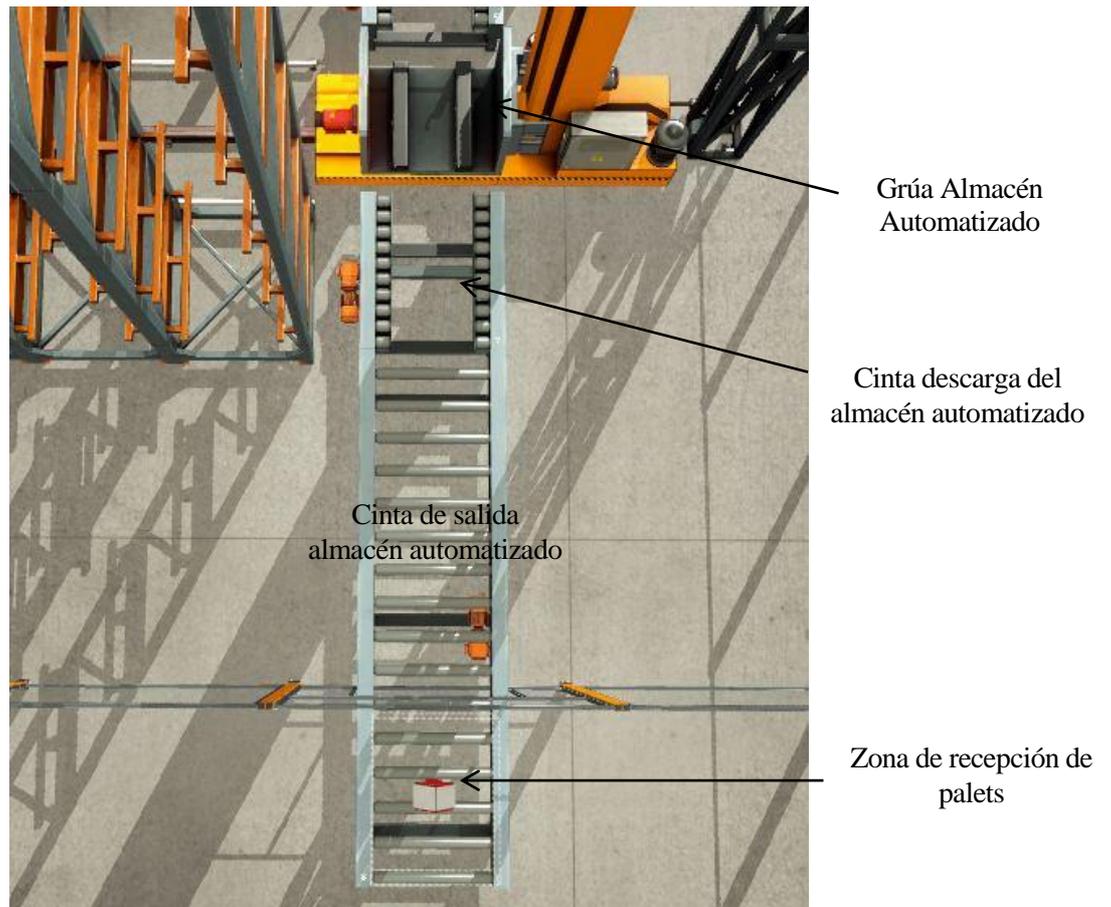


Figura 43. Cintas de salida del Almacén Automatizado

En la figura 42 y 43 se encuentran las distintas partes del almacén automatizado, incluyendo sensores, cintas y demás partes del almacén para su mejor comprensión de la planta.

- Panel de Control

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iPE	BOOL	Sensor de la seta de emergencia
iStart	BOOL	Sensor del botón de start
iStop	BOOL	Sensor del botón de stop
iReset	BOOL	Sensor del botón de reset
iManual	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto
iAuto	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto
iStartPalet	BOOL	Sensor del botón de start de la zona de palets
iManualPalet	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto de la zona de palets
iAutoPalet	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto de la zona de palets
iresetpalet	BOOL	Sensor del botón de reset de la zona de palets

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
iStartCajas	BOOL	Sensor del botón de start de la zona del brazo pick and place
iManualCajas	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto del brazo pick and place
iAutoCajas	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto del brazo pick and place
iresetcajas	BOOL	Sensor del botón de reset de la zona del brazo pick and place
iStartCajones	BOOL	Sensor del botón de start de la zona de los cajones
iManualCajones	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto de los cajones
iAutoCajones	BOOL	Sensor del interruptor manual/auto de los cajones
iresetcajones	BOOL	Sensor del botón de reset de la zona de los cajones

Tabla 14. Variables globales del Panel de control del Almacén Automatizado



Figura 44. Partes del Panel de Control del Almacén Automatizado

En la figura 44 se observan los distintos botones e interruptores del panel de control del almacén automatizado.

6.3.3.2 POU

Para el funcionamiento de este ejercicio se han utilizado un total de 29 POU que han sido creadas para dar funcionamiento a las distintas partes de la planta. Se clasifican de la siguiente forma, desde la capa más alta hasta la más baja:

1. PLC_PRG: esta POU es de tipo Program (PRG) en lenguaje ST, es el programa principal con el que se empieza siempre en Codesys. De aquí salen las demás POU para el funcionamiento del ejercicio.
 - a. Modo General: es una POU tipo Program (PRG) en lenguaje SFC que está basado en el modo de funcionamiento de la guía Gemma, en el que nos encontraríamos dentro los siguientes estados de funcionamiento.
 - i. Parada de Emergencia: es una POU tipo Program (PRG) escrita en lenguaje ST que me controla cuando en el sistema se me activa la seta de emergencia, por lo que me pondrá todas las cintas y distintas partes de la planta en FALSE para que se detengan y así poder arreglar el error que haya en la planta. Se ha escrito en lenguaje ST debido a su fácil manejo para cambiar de estado las variables del sistema.
 - ii. Inicio, Reinicio: no son ningún tipo de POU, sino un estado del modo general; no se realiza ninguna acción en el código, pero en la realidad corresponderían a las acciones de inicio y puesta a punto de las cintas por parte de los operarios y de la fase de reinicio por si tuvieran que quitar físicamente algo de las cintas.
 - iii. Func Normal Resto: esta POU tipo Program (PRG) controla los modos de funcionamiento cuando la planta está funcionando con normalidad de las partes de las cintas giradoras 1 y 2 además de las cintas de entrada al almacén y el almacén. Debido a su secuencialidad entre manual y automático de la planta se ha implementado con lenguaje SFC ya que es fácil entendimiento para procesos secuenciales.
 1. Modo Manual Resto: esta POU es tipo Program (PRG), y controla el movimiento manual. Está escrita en lenguaje LD, de manera que las distintas cintas de esta parte se controlan manualmente por el operario. El funcionamiento de las cintas giradoras y el almacén sigue siendo automático en este modo y se controlan mediante POU de tipo Bloque Funcional (FBD), menos las cintas que si se manejan manualmente. Las variables internas de esta POU están en la tabla 15.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Giradora1_00	Giradora1	POU tipo Bloque Funcional que controla la cinta giradora 1 (se explica en el anexo A.3)
Almacen1_00	Almacen1	POU tipo Bloque Funcional que controla el funcionamiento del almacén automatizado (se explica en el anexo A.3)
Giradora2_00	Giradora2	POU tipo Bloque Funcional que controla la cinta giradora 2 (se explica en el anexo A.3)
InA	BOOL	Variable que indica que puede entrar en la cinta giradora 2 los palets del lado de la paletizadora y el brazo
FTcd	BOOL	Variable que indica el fin del Temporizador
atcd	BOOL	Variable que activa el temporizador
cd	TON	Temporizador que controla distintos tiempos del almacén

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
VarTimecd	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador
InCajones	BOOL	Variable que indica que pueden pasar los palets de los cajones a la cinta giradora 2
Inpaletizadora	BOOL	Variable que indica que pueden pasar los palets de la paletizadora a la cinta giradora 1
espieza	BOOL	Variable que se activa en el sensor de altura (iSensorAlt0) de entrada al almacén indicando que el palet que va a entrar es del brazo pick and place
escajon	BOOL	Variable que se activa en el sensor de altura (iSensorAlt3) de entrada al almacén indicando que el palet que va a entrar es de los cajones
escajas	BOOL	Variable que se activa en el sensor de altura (iSensorAlt2) de entrada al almacén indicando que el palet que va a entrar es de la paletizadora

Tabla 15. Variables internas de la POU Modo Manual Resto

2. Modo Auto Resto: esta POU es tipo Program (PRG), y controla el funcionamiento automático de las cintas giradoras 1 y 2, de las cintas de entrada al almacén, además del almacén, que están codificadas en POU tipo FBD. Está escrito en lenguaje LD. Las variables internas de este modo se detallan en la tabla 16.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Giradora1_00	Giradora1	POU tipo Bloque Funcional que controla la cinta giradora 1 (se explica en el anexo A.3)
Almacen1_00	Almacen1	POU tipo Bloque Funcional que controla el funcionamiento del almacén automatizado (se explica en el anexo A.3)
Giradora2_00	Giradora2	POU tipo Bloque Funcional que controla la cinta giradora 2 (se explica en el anexo A.3)
InA	BOOL	Variable que indica que puede entrar en la cinta giradora 2 los palets del lado de la paletizadora y el brazo
FTcd	BOOL	Variable que indica el fin del Temporizador
atcd	BOOL	Variable que activa el temporizador
cd	TON	Temporizador que controla distintos tiempos del almacén
VarTimecd	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador
InCajones	BOOL	Variable que indica que pueden pasar los palets de los cajones a la cinta giradora 2

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Inpaletizadora	BOOL	Variable que indica que pueden pasar los palets de la paletizadora a la cinta giradora 1
espieza	BOOL	Variable que se activa en el sensor de altura (iSensorAlt0) de entrada al almacén indicando que el palet que va a entrar es del brazo pick and place
escajon	BOOL	Variable que se activa en el sensor de altura (iSensorAlt3) de entrada al almacén indicando que el palet que va a entrar es de los cajones
escajas	BOOL	Variable que se activa en el sensor de altura (iSensorAlt2) de entrada al almacén indicando que el palet que va a entrar es de la paletizadora
CintasEntAlmacen_00	CintasEntAlmacen	POU tipo Bloque Funcional que controla las cintas de entrada al almacén (se explica en el anexo A.3)
TratError	TON	Temporizador para el tratamiento de errores de esta parte de la planta.
FT	BOOL	Variable que marca el fin del temporizador TratError
ActTemp	BOOL	Variable que me activa el inicio del temporizador TratError
TratErrorResto_0	TratErrorResto	POU tipo Bloque Funcional que controla el tratamiento de errores de esta parte de la planta (se explica en el anexo A.3)

Tabla 16. Variables internas de la POU Modo Auto Resto

- iv. Func Normal Piezas: esta POU tipo Program (PRG) controla los modos de funcionamiento cuando la planta está funcionando con normalidad de la zona del brazo pick and place. Debido a su secuencialidad entre manual y automático de la planta se ha implementado con lenguaje SFC ya que es fácil entendimiento para procesos secuenciales. Esta POU incluye:
1. Modo Manual Piezas: es una POU tipo Program (PRG) que maneja de forma manual la colocación de las piezas en los palets mediante el brazo pick and place. Está escrito en lenguaje LD debido a su simplicidad. Las variables internas de esta POU están explicadas en la tabla 17.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
pieza	TON	Temporizador para indicar cuanto tiempo tiene que coger el brazo la pieza
VarTIME	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador pieza
dejarpieza	TON	Temporizador que cuenta el tiempo que tiene que tardar para dejar la pieza en el palet
VarTIME2	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador dejarpieza

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
enpos	BOOL	Variable que indica que el brazo está en la posición para coger la pieza
paletlibre	BOOL	Variable que indica que el palet está libre para que se le coloque una pieza

Tabla 17. Variables internas de la POU Modo Manual Piezas

2. Modo Auto Piezas. Esta POU es de tipo Program (PRG), escrita en lenguaje LD y controla el funcionamiento automático de la colocación de las piezas en los palets por parte del brazo pick and place que se controlan mediante un Bloque Funcional. La lista de variables internas están representadas en la tabla 18.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Cajass_00	Cajass	POU tipo Bloque Funcional que controla el funcionamiento automático de la parte del brazo pick and place (se explica en el anexo A.3)

Tabla 18. Variables internas de la POU Modo Auto Piezas

- v. Func Normal Paletizadora: esta POU tipo Program (PRG) controla los modos de funcionamiento cuando la planta está funcionando con normalidad de la zona del paletizadora. Debido a su secuencialidad entre manual y automático de la planta se ha implementado con lenguaje SFC ya que es fácil entendimiento para procesos secuenciales. Esta POU incluye:
 1. Modo Manual Paletizadora: POU tipo Program (PRG) codificada en lenguaje LD. Controla el funcionamiento manual de la zona de la paletizadora. Las variables internas son las siguientes:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Inpaletizadora	BOOL	Variable que indica que pueden pasar los palets de la paletizadora a la cinta giradora 1
contadorlineatres	CTU	Contador que me indica cuando se han juntado 3 cajas para ser empujadas a la trampilla de la paletizadora
contlintres	WORD	Variable en donde se va almacenando el conteo del contador contadorlineatres
FCtres	BOOL	Variable que indica el fin de contado del contador contadorlineatres
contadorlineados	CTU	Contador que me indica cuando se han juntado 2 cajas para ser empujadas a la trampilla de la paletizadora
Contlindos	WORD	Variable en donde se va almacenando el conteo del contador contadorlineados

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
FCdos	BOOL	Variable que indica el fin de contado del contador contadorlineados
entres	BOOL	Variable que me indica que estamos paletizando líneas de 3 cajas
endos	BOOL	Variable que me indica que estamos paletizando líneas de 2 cajas
paletpaletizadora	PaletsPaletizadora	POU tipo Bloque Funcional que me controla el movimiento de los palets de la paletizadora (se explica en el anexo A.3)
paletcargadouno	BOOL	Variable que indica que se ha cargado en el palet la primera fila de cajas de la paletizadora
paletcargados	BOOL	Variable que indica que se ha cargado en el palet la segunda fila de cajas de la paletizadora
paletlistouno	BOOL	Variable que indica que el palet está listo para que se le cargue la primera fila de cajas de la paletizadora
paletlistodos	BOOL	Variable que indica que el palet está listo para que se le cargue la segunda fila de cajas de la paletizadora
tempempujar	TON	Temporizador para ayudar al momento de empujar las cajas a la trampilla de la paletizadora
ATemp	BOOL	Variable que inicia el temporizador tempempujar
VarTIMEpalet	TIME	Variable donde se va guardando el tiempo del temporizador tempempujar

Tabla 19. Variables internas de la POU Modo Manual Paletizadora

2. Modo Auto Paletizadora: POU tipo Program (PRG) que controla el funcionamiento automático de la paletizadora en su conjunto. Está codificado en lenguaje LD por su simplicidad. Las variables internas son las siguientes:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Paletizadora_00	Paletizadora	POU tipo Bloque Funcional que controla el funcionamiento automático de la paletizadora del almacén automatizado (se explica en el anexo A.3)

Tabla 20. Variables internas de la POU Modo Auto Paletizadora

- vi. Func Normal Cajones: POU tipo Program (PRG) que controla los modos de funcionamiento de esta parte de la planta cuando está funcionando de modo normal. Debido a su secuencialidad entre manual y automático de la planta se ha implementado con lenguaje SFC ya que es fácil entendimiento para procesos secuenciales. Esta POU incluye:
 1. Modo Manual Cajones: POU tipo Program (PRG) codificada en lenguaje

LD. Controla el funcionamiento manual de la zona de los cajones.

2. Modo Auto Cajones: POU tipo Program (PRG) que controla el funcionamiento automático de los cajones en su conjunto. Está codificado en lenguaje LD por su simplicidad. Las variables internas son las siguientes:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Cajoness_00	Cajoness	POU tipo Bloque Funcional que controla el funcionamiento automático de los cajones del almacén automatizado (se explica en el anexo A.3)

Tabla 21. Variables internas de la POU Modo Auto Cajones

A parte de los distintos modos de funcionamiento, también existen otras POU que dependen directamente de la POU PRG_PLC, ya que están funcionando en todo momento, pero que no están dentro de ningún tipo de modo de funcionamiento o Parada de Emergencia. Estas son distintas POU para el manejo del almacén:

- b. Comprobarhuecolibre: es una POU tipo Program (PRG) desarrollada en lenguaje ST debido a que en su interior se manejan cambios de variables analógicas y se hacen cálculos con matrices. Esta POU controla la búsqueda de un hueco libre en el almacén cuando hay un palet listo para ser cargado. Las variables internas de esta POU están detalladas en la tabla 22:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
I	INT	Variable interna para el recorrido de la matriz
J	INT	Variable interna para el recorrido de la matriz
nohayhueco	BOOL	Variable interna que marcaría que no hay hueco libre disponible para guardar el palet.

Tabla 22. Variables de la POU comprobarhuecolibre

- c. Irposicion: es una POU tipo Program (PRG) desarrollada en lenguaje ST debido a que en su interior se manejan cambios de variables analógicas y se hacen cálculos con matrices. Esta POU controla el manejo de mover la grúa del almacén a la posición libre del mismo una vez que en la POU comprobarhuecolibre se ha encontrado un hueco en el almacén libre para el palet que esté esperando. Las variables de esta POU son las siguientes:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
I	INT	Variable interna para el recorrido de la matriz
J	INT	Variable interna para el recorrido de la matriz

Tabla 23. Variables de la POU Irposicion

- d. Altua: es una POU tipo Program (PRG) en lenguaje ST, debido a su finalidad para uso con

variables tipo INT, ya que en esta POU se identifica que tipo de palet va a ser almacenado.

- e. Orgmatrizpos: es una POU tipo Program (PRG) desarrollada en lenguaje ST debido a que en su interior se manejan cambios de variables analógicas y se hacen cálculos con matrices. Esta POU solo se ejecuta una vez en todo el funcionamiento de la planta, al inicio de la misma, y lo que hace es numerar los huecos del almacén de la forma que guste. En nuestro caso empieza abajo a la izquierda hasta arriba a la derecha. Las variables internas de esta POU son:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
I	INT	Variable interna para el recorrido de la matriz
J	INT	Variable interna para el recorrido de la matriz
k	WORD	Variable interna para ir aumentando las posiciones

Tabla 24. Variables de la POU Orgmatrizpos

Anexo A. Librería de Bloques Funcionales

Este Trabajo de Fin de Grado está enfocado de una forma didáctica, por lo que para el desarrollo de los distintos ejercicios para Autómatas Programables se han creado distintos Bloques Funcionales (FBD por sus siglas en inglés, *Block Function Diagram*). También se han implementado en los ejercicios con vistas a sus uso en una verdadera planta, donde te podrías encontrar decenas de los mismos aparatos como pueden ser las paletizadoras, brazos pick and place o cintas.

Anexo A-1 Sorting by Weight

Bloques Funcionales

Los distintos bloques funcionales que nos encontramos en este ejercicio son los siguientes (Las variables en azul son las entradas al FBD, las rojas las salidas, y las blancas las variables internas propias):

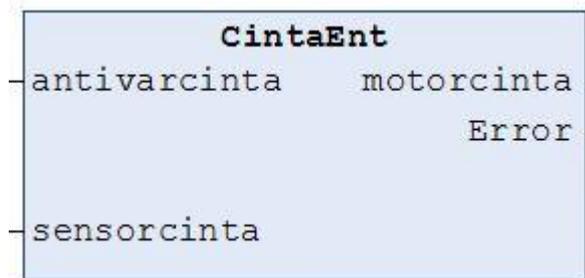


Figura 45. FBD de la cinta de entrada.

En la figura 45 con encontramos con la POU tipo Bloque Funcional que maneja la cinta de entrada de la planta. Este bloque maneja la cinta en modo automático, de manera que pase las piezas por la cinta principal hasta la cinta clasificadora de piezas según el peso. Esta POU está escrita en lenguaje LD debido a su simplicidad para manejar variables booleanas.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Activarcinta	BOOL	Variable interna que si está a TRUE inicia la cinta
Sensorcinta	BOOL	Variable interna que recibe el sensor que tenga la cinta
Motorcinta	BOOL	Variable interna que controla el motor de la cinta
Error	BOOL	Variable interna que maneja el error que pueda ocurrir en la cinta
contadorerror	TON	Temporizador de error de la cinta
VarTime	TIME	Variable donde se va guardando el tiempo del temporizador

Tabla 25. Variables Internas de la POU CintaEnt

En la figura 46 se tiene en la POU tipo Bloque Funcional que controla la cinta que mide el peso de las piezas y de la cinta que clasifica el sitio al que van las piezas según el peso de las mismas. Esta codificado en lenguaje ST debido a que en el interior se manejan variables tipo WORD.

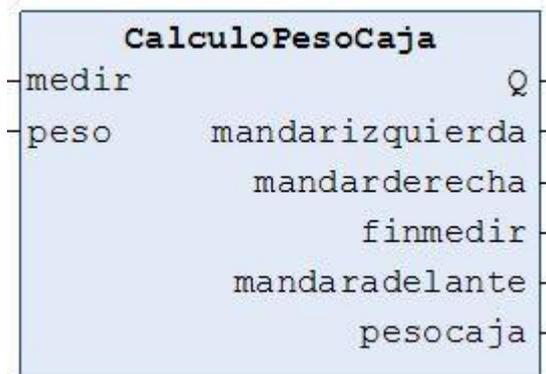


Figura 46. FBD de la cinta transportadora de peso y la cinta clasificadora de ruedas.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Medir	BOOL	Variable que indica que se puede medir el peso de la caja
peso	WORD	Variable donde se recibe el peso de la caja que se esté midiendo
Mandarizquierda	BOOL	Variable que indica que la caja se debe de mandar a la izquierda
mandarderecha	BOOL	Variable que indica que la caja se debe de mandar a la derecha
Finmedir	BOOL	Variable que indica el fin del proceso de medir
Mandaradelante	BOOL	Variable que indica que la caja se debe de mandar adelante
pesocaja	WORD	Variable donde se guarda el peso de la caja
Timer01	TON	Temporizador interno para medir el tiempo de pesado
Start	BOOL	Variable interna que inicia el temporizador
Adelante	BOOL	Variable interna que se activa si el peso de la caja medida está entre 3 y 4.5 kilogramos
Derecha	BOOL	Variable interna que se activa si el peso de la caja medida supera los 4.5 kilogramos
izquierda	BOOL	Variable interna que se activa si el peso de la caja medida es inferior a 3 kilogramos

Tabla 26. Variables Internas de la POU Calculopesocaja

En la figura 47 se observa la POU tipo Bloque Funcional que utilizan las cintas transportadoras de salida (izquierda, derecha y adelante), para llevar las cajas hasta su destino. Esta codificada en lenguaje LD. Las variables de esta POU están en la tabla 27.

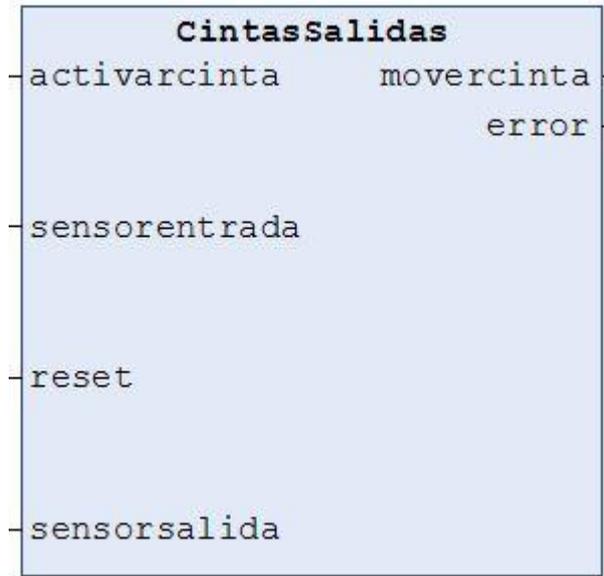


Figura 47. FBD de las cintas transportadoras de salida.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Activarcinta	BOOL	Variable interna que controla el motor de la cinta
Sensorentrada	BOOL	Variable interna que conecta con el sensor de entrada de la cinta
Sensorsalida	BOOL	Variable interna que conecta con el sensor de salida de la cinta
Reset	BOOL	Variable que resetea el error de la cinta
movercinta	BOOL	Variable interna que controla el motor de la cinta
Error	BOOL	Variable interna que maneja el error que pueda ocurrir en la cinta
temperror	TON	Temporizador de error de la cinta
VarTime	TIME	Variable donde se va guardando el tiempo del temporizador
iniciarcont	BOOL	Variable que inicia el temporizador

Tabla 27. Variables Internas de la POU CintasSalida

Las variables que están sombreadas en azul son variables tipo INPUT, las que están sombreadas en rojo son variables tipo OUTPUT, y las blancas son variables internas de los FBD

Por último, en la figura 31, se encuentra un bloque contador (CTU por sus siglas en inglés), que va contando las cajas que van saliendo por cada cinta.

Las entradas son, 'CU' la variable que me activa el contador, 'reset' que es la variable que me reinicia el contador a cero y 'PV' la variable que me marca que el contador ya ha llegado a su límite. Las salidas es 'CV' que es la variable donde se va almacenando el recuento.

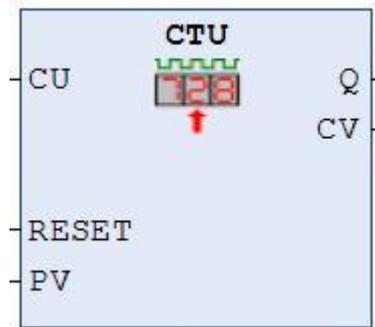


Figura 48. FBD de un contador.

Anexo A-2 Control de Nivel

Bloques Funcionales

En la figura 49 se ve el único bloque funcional que tiene este ejercicio. Se trata del bloque que controla el funcionamiento de los tanques de agua mediante un controlador PID.

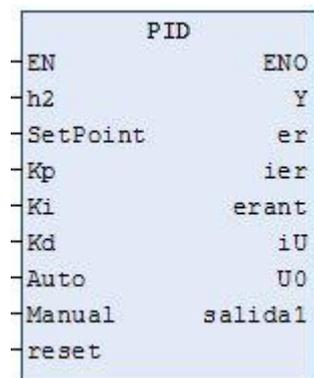


Figura 49. FBD PID del Control de Nivel.

Las variables internas de este bloque funcional son las mostradas en la tabla 28.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
h2	REAL	Variable que conecta con el sensor iLevelMeter2 (altura del depósito 2)
Set Point	REAL	Variable que conecta con el sensor iSetPoint
Kp	REAL	Constante Proporcional
Ki	REAL	Constante Integral
Kd	REAL	Constante Derivativa
Auto	BOOL	Variable que conecta con iAuto
Manual	BOOL	Variable que conecta con iManual
Reset	BOOL	Variable que conecta con iResets

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Y	REAL	Salida del controlador que actúa sobre oFillValve1
er	REAL	Error
ier	REAL	Integral del error
erant	REAL	Error anterior
iU	REAL	Incremento de la entrada del sistema
U0	REAL	Entrada del sistema del punto de funcionamiento
Salida1	REAL	Salida del caudal de agua del depósito 1 (igual a la entrada del depósito 2)

Tabla 28. Variables internas FBD PID

Las variables en azul son las entradas al FBD, las rojas las salidas, y las blancas las variables internas propias.

Anexo A-3 Almacén Automatizado

Bloques Funcionales

En este ejercicio se han utilizado bastantes bloques funcionales debido a las diversas partes que tiene el mismo.

Las variables en azul son las entradas al FBD, las rojas las salidas, y las blancas las variables internas propias.

En la figura 50 vemos en la POU tipo Bloque Funcional que maneja todo el funcionamiento del almacén automatizado, desde que llega un palet para ser guardado hasta sacarlo cuando se nos ordena por el SCADA. Debido a la secuencialidad del movimiento de guardar un palet en el almacén o de sacarlo, esta POU se ha codificado en lenguaje SFC, que es un lenguaje secuencial. Las variables de esta POU están en la siguiente tabla:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
EntAlm	BOOL	Variable que conecta con el sensor iEntAlmacen
HuecoEncontrado	BOOL	Variable que se activa cuando hay un hueco encontrado
LimiteCarga	BOOL	Variable que conecta con el sensor iLimiteCarga
MovElevadorCarga	BOOL	Variable que conecta con el sensor iMovElevador
MovPos	BOOL	Variable que conecta con el sensor iMovPos
LimiteDescarga	BOOL	Variable que conecta con el sensor iLimiteDescarga
LimiteMedio	BOOL	Variable que conecta con el sensor iLimiteMedio
SensorAlt0	BOOL	Variable que conecta con el sensor iSensorAlt0
SensorAlt2	BOOL	Variable que conecta con el sensor iSensorAlt2
SensorAlt3	BOOL	Variable que conecta con el sensor iSensorAlt3

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
FTcd	BOOL	Variable que me indica el fin del temporizador que está en la POU del almacén
botonsacarpalet	BOOL	Variable que me conecta con el sensor iBotonsacarpalet
Cargar	BOOL	Variable que me activa el actuador oCargaEntrada
ElevadorCarga	BOOL	Variable que me activa el actuador oElevadorCarga
IrHueco	BOOL	Variable que me activa la POU Irhueco
DejaCarga	BOOL	Variable que me activa el actuador oDejaCarga
Espieza	BOOL	Variable que me activa el actuador espieza para indicar que el palet que está entrando es proveniente del brazo pick and place
Escajon	BOOL	Variable que me activa el actuador Escajon para indicar que el palet que está entrando es proveniente de los cajones
escajas	BOOL	Variable que me activa el actuador escajas para indicar que el palet que está entrando es proveniente de la paletizadora
Vuelveinicio	BOOL	Variable que me activa el actuador vuelve inicio para indicar que la grúa tiene que volver a la posición inicial
Comprobarhuecolibre	BOOL	Variable que me activa la POU Comprobarhuecolibre
Actd	BOOL	Variable que me activa el temporizador
Sacarpalet	BOOL	Variable que me activa el actuador sacarpalet
sacandopalet	BOOL	Variable que me activa la variable global sacandopalet que indica que está siendo sacado un palet del almacén

Tabla 29. Variables de la POU Almacen1

En la figura 51 se tiene la POU tipo FBD del pick and place del almacén automatizado. Está escrito en lenguaje LD debido a su simplicidad con variables booleanas. Las variables de esta POU se detallan en la tabla 30.

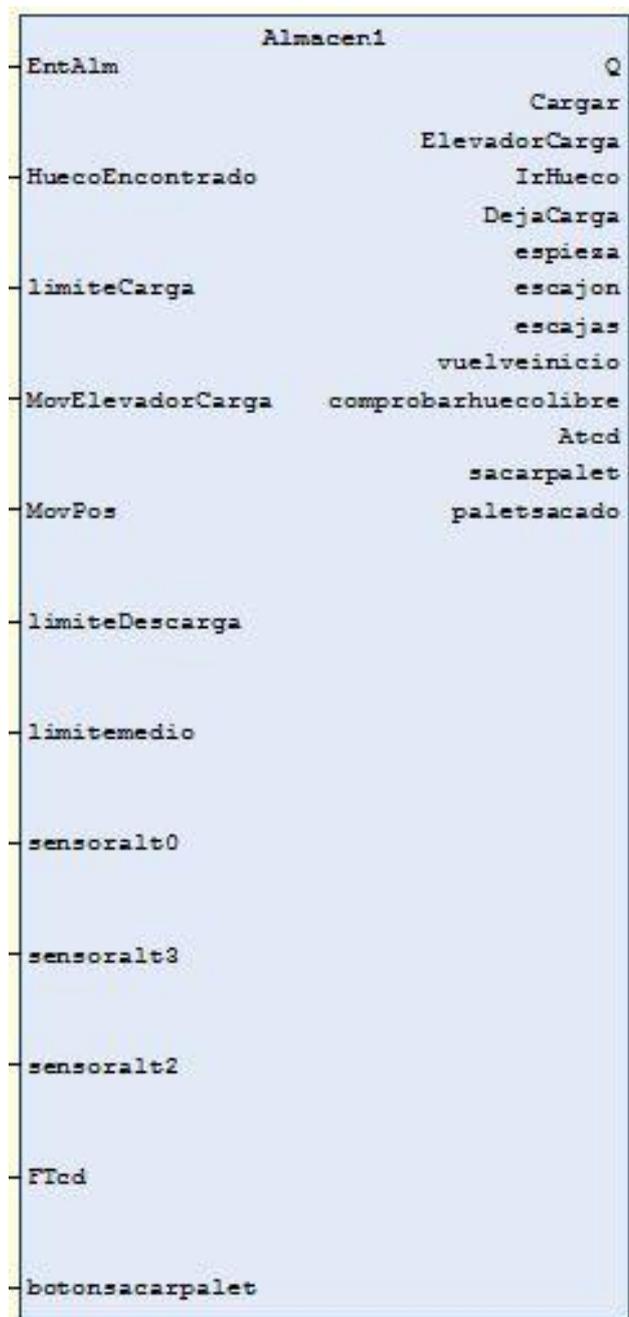


Figura 50. FBD del almacén automatizado.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Poscargarpieza	BOOL	Variable que conecta con el sensor iPoscargarpieza
Entgir1piezas	BOOL	Variable que conecta con el sensor iEntgir1piezas
Haycaja	BOOL	Variable que conecta con el sensor iHaycaja
Moveejex	BOOL	Variable que conecta con el sensor iMovejex
Movejez	BOOL	Variable que conecta con el sensor iMovejez

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Cogida	BOOL	Variable que conecta con el sensor iCogida
Incajas	BOOL	Variable que conecta con la variable global Incajas
Resetcajas	BOOL	Variable que conecta con el sensor iResetcajas
Cintapalets	BOOL	Variable que conecta con el actuador oCintapalets
Cintasalidapiezas	BOOL	Variable que conecta con el actuador oCintasalidapiezas
Cintacajas	BOOL	Variable que conecta con el actuador oCintacajas
Brazocaja	BOOL	Variable que conecta con el actuador Brazocaja
Ejex	BOOL	Variable que conecta con el actuador oEjex
Ejez	BOOL	Variable que conecta con el actuador oEjez
Cogerpieza	BOOL	Variable que conecta con el actuador oCogerpieza
ErrorCajas	BOOL	Variable que me activa la variable global de error de ErrorCajas
Paletlibre	BOOL	Variable interna que indica que hay un palet libre para que se le coloque una caja
Enpos	BOOL	Variable que inidica que el palet está en posición para cargarle la pieza con el brazo pick and place
Dejarpieza	TON	Temporizador para dejar las piezas en el palet
VarTIME	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador
Pieza	TON	Temporizador para contar el tiempo que se coge la pieza con el brazo
Traterror	TON	Temporizador del error
VarTIMEError	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador
ActTemp	BOOL	Variable que me inicia el temporizador del error
FT	BOOL	Variable que marca el final del temporizador del error
TratErrorCajas_0	TratError	POU tipo Bloque Funcional que maneja el error de esta parte de la planta

Tabla 30. Variables de la POU Cajass

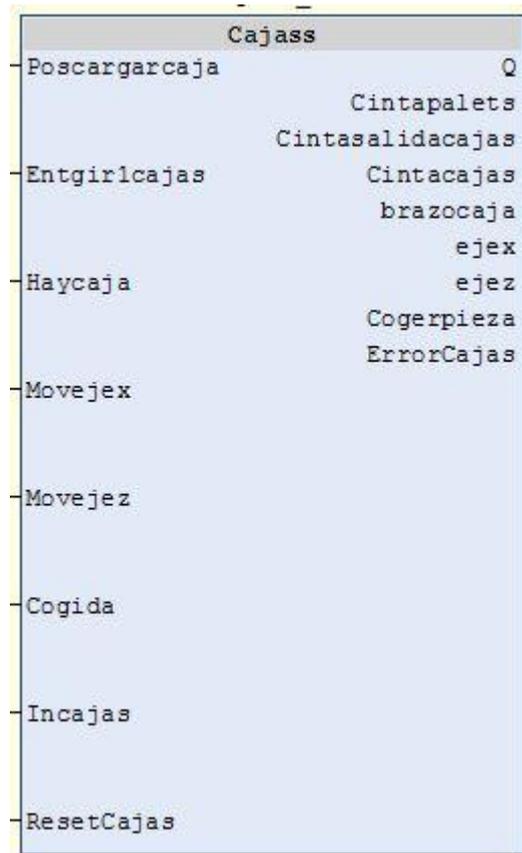


Figura 51. FBD del pick and place del almacén automatizado.

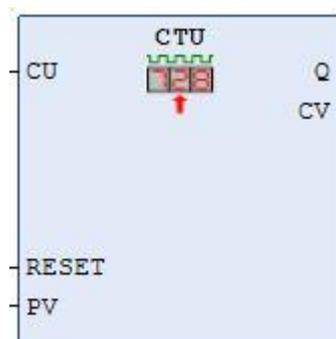


Figura 52. FBD contador.

En la figura 52 se encuentra un bloque contador (CTU por sus siglas en inglés). Las entradas son, 'CU' la variable que me activa el contador, 'reset' que es la variable que me reinicia el contador a cero y 'PV' la variable que me marca que el contador ya ha llegado a su límite. Las salidas es 'CV' que es la variable donde se va almacenando el recuento.

En la figura 53 nos encontramos con la POU tipo Bloque Funcional que maneja toda la paletizadora en su conjunto. Dentro a su vez tendrá otras llamadas a más bloques funcionales funcionando al mismo tiempo. Esta codificada en lenguaje LD debido a su sencillez con el manejo de variables booleanas. Las variables de esta POU están descritas en la tabla 31.

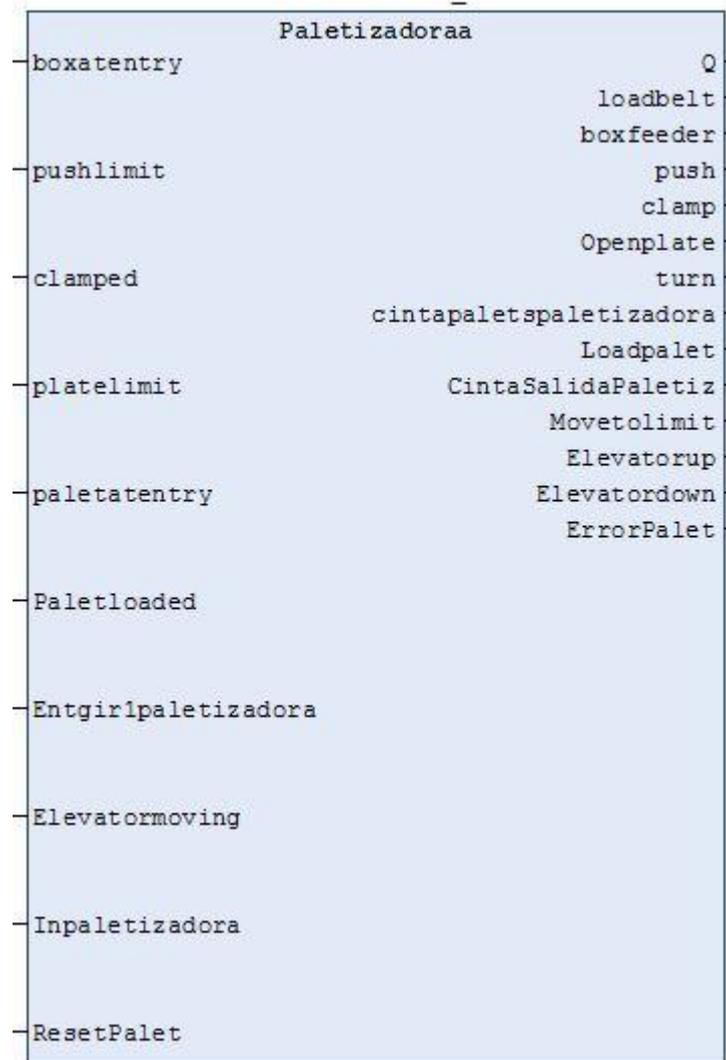


Figura 53. FBD de la paletizadora del almacén automatizado.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Boxatentry	BOOL	Variable que conecta con el sensor iBoxatentry
Pushlimit	BOOL	Variable que conecta con el sensor iPushlimit
Clamped	BOOL	Variable que conecta con el sensor iClamped
Platelimit	BOOL	Variable que conecta con el sensor iPlatelimit
Paletareentry	BOOL	Variable que conecta con el sensor iPaletareentry
Paletloaded	BOOL	Variable que conecta con el sensor iPaletloaded
Entgir1paletizadora	BOOL	Variable que conecta con el sensor iEntgir1paletizadora
Elevatormoving	BOOL	Variable que conecta con el sensor iElevatormoving
Inpaletizadora	BOOL	Variable que conecta con el sensor Inpaletizadora

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Resetpalet	BOOL	Variable que conecta con el sensor iResetpalet
Loadbelt	BOOL	Variable que conecta con el actuador oLoadbelt
Boxfeeder	BOOL	Variable que conecta con el actuador oBoxfeeder
Push	BOOL	Variable que conecta con el actuador oPush
Clamp	BOOL	Variable que conecta con el actuador oClamp
Openplate	BOOL	Variable que conecta con el actuador oOpenplate
Turn	BOOL	Variable que conecta con el actuador oTurn
Cintapaletpaletizadora	BOOL	Variable que conecta con el actuador oCintapaletpaletizadora
Loadpalet	BOOL	Variable que conecta con el actuador oLoadpalet
Cintasalidapaletiz	BOOL	Variable que conecta con el actuador oCintasalidapaletiz
Movetolimit	BOOL	Variable que conecta con el actuador oMovetolimit
Elevatorup	BOOL	Variable que conecta con el actuador oElevatorup
Elevatordown	BOOL	Variable que conecta con el actuador oElevatordown
ErrorPalet	BOOL	Variable que conecta con el actuador oErrorPalet
cajaspalet	CajasPaletizadora	POU tipo Bloque Funcional que maneja la parte de las cajas de la paletizadora
Empujar	BOOL	Variable que indica que se está activando el actuador oPush
Contadorlineatres	CTU	Contador para la línea de cajas de 3
FCtres	BOOL	Variable que indica que se ha terminado de contar
contlintres	WORD	Variable donde se va guardando el conteo del contador
Contadorlineados	CTU	Contador para la línea de cajas de
FCdos	BOOL	Variable que indica que se ha terminado de contar
contlindos	WORD	Variable donde se va guardando el conteo del contador
paletcargado	BOOL	Variable que indica que el palet ha sido cargado con las dos hileras de cajas
paletlistouno	BOOL	Variable que indica que el palet está listo para recibir la primera hilera de cajas por la trampilla
paletlistodos	BOOL	Variable que indica que el palet está listo para recibir la segunda hilera de cajas por la trampilla

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Tempempujar	TON	Temporizador para el empuje de las cajas
ATemp	BOOL	Variable que activa el temporizador
FT	BOOL	Variable de fin de temporizador
VarTIMEpalet	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador
paletpaletizadora	PaletsPaletizadora	POU tipo Bloque Funcional que maneja la parte de los palets de la paletizadora
paletcargadouno	BOOL	Variable que indica que se ha cargado la primera hilera de cajas en el palet
paletcargados	BOOL	Variable que indica que se ha cargado la segunda hilera de cajas en el palet
TratError	TON	Temporizador del error
VarTIMEerror	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador
ActTemp	BOOL	Variable que activa el temporizador
TratErrorPalet_0	TratError	POU tipo Bloque Funcional que maneja el tratamiento de error de la paletizadora
FTempError	BOOL	Variable de fin de temporizador del error

Tabla 31. Variables de la POU Paletizadora

La figura 55 corresponde a la POU de tipo Bloque Funcional 'CajasPaletizadora' que está dentro del FBD 'Paletizadora', que se encarga de la parte de las cajas de la paletizadora. Debido a la secuencialidad del manejo de esta parte de la paletizadora, se ha codificado en lenguaje SFC. Las variables de esta POU se indican en la tabla 32.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
FCdos	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora FCdos
Pushlimit	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Pushlimit
Clamped	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Clamped
Platelimt	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Platelimt
FCtres	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora FCtres

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Paletcargado	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Paletcargado
FT	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora FT
Paletlistouno	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Paletlistouno
paletlistodos	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora paletlistodos
Push	BOOL	Variable que activa la señal de push de la POU Paletizadora
Clamp	BOOL	Variable que activa la señal de Clamp de la POU Paletizadora
Openplate	BOOL	Variable que activa la señal de Openplate de la POU Paletizadora
Empujando	BOOL	Variable que activa la señal de Empujar de la POU Paletizadora
ATemp	BOOL	Variable que activa la señal de ATemp de la POU Paletizadora
Endos	BOOL	Variable que activa la señal de Endos de la POU Paletizadora
Entres	BOOL	Variable que activa la señal de Entres de la POU Paletizadora
Turn	BOOL	Variable que activa la señal de Turn de la POU Paletizadora
Paletcargadouno	BOOL	Variable que activa la señal de Paletcargadouno de la POU Paletizadora
paletcargados	BOOL	Variable que activa la señal de paletcargados de la POU Paletizadora

Tabla 32. Variables de la POU Cajaspaletizadora

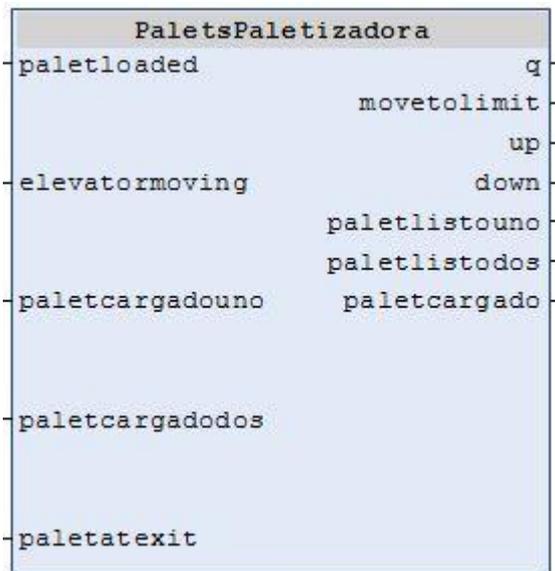


Figura 54. FBD PaletsPaletizadora del almacén automatizado.

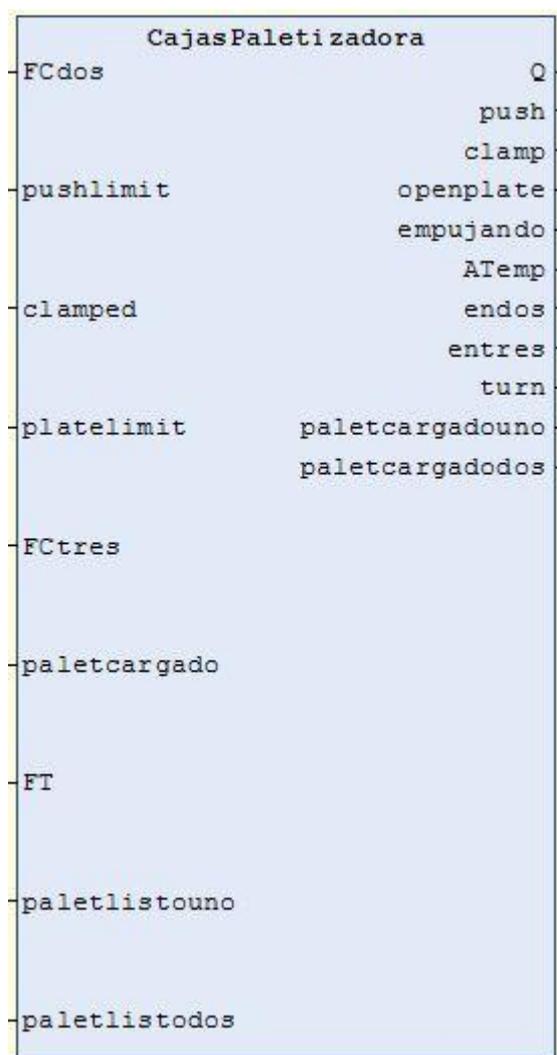


Figura 55. FBD CajasPaletizadora del almacén automatizado.

En la figura 54 se tiene otra POU tipo bloque Funcional que va dentro también del FBD 'Paletizadora', y controla la parte de los palets de la paletizadora. Debido a la secuencialidad del manejo de esta parte de la paletizadora, se ha codificado en lenguaje SFC. Las variables de esta POU se indican en la tabla 33.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
paletloaded	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora paletloaded
Elevatormoving	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Elevatormoving
Paletcargadouno	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Paletcargadouno
Paletcargadodos	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora paletloaded

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
paletatexit	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora paletatexit
Movetolimit	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Movetolimit
Up	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Up
Down	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Down
Paletlistouno	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Paletlistouno
Paletlistodos	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora Paletlistodos
paletcargado	BOOL	Variable que se conecta con la variable interna de la POU paletizadora paletcargado

Tabla 33. Variables de la POU PaletsPaletizadora

En la figura 56 se ve el Bloque Funcional que maneja el tratamiento de errores de las distintas partes de la planta (en este caso es el bloque que maneja el de la parte del brazo pick and place, que también lo he llamado a veces cajas).

Las entradas de este bloque son 'sensorentrada' que se corresponde con el sensor que tenga la cinta, que nos controlará si hay una ausencia prolongada de cajas por ahí lo que indicaría un atasco en la cinta, 'Reset' que se corresponde con el botón de reset de la parte de la planta que nos reiniciaría el error y 'FT' variable de un temporizador interno. Las salidas son 'ActTemp' que inicia el temporizador interno para contar los segundos de falta de cajas por el sensor y 'Error' que me activa la variable error de esa parte de la planta.

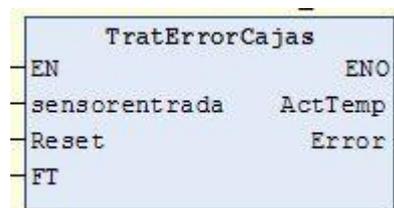


Figura 56. FBD TratErrorCajas del almacén automatizado.

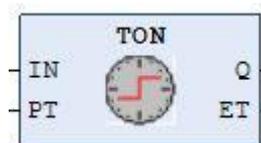


Figura 57. FBD de un contador TON del almacén automatizado.

En la figura 57 nos encontramos con un Bloque Funcional de un temporizador tipo TON. Las entradas de este

bloque son 'IN' que me activaría el temporizador y 'PT' que nos dice los segundos que cuenta. Las salidas son 'Q' que es la variable que se activaría si se termina de temporizar y 'ET' la variable donde se guarda el tiempo de temporización.

En la figura 58 se tiene una POU tipo Bloque Funcional que maneja la parte de los cajones del almacén automatizado. Está codificado en lenguaje LD. Las variables se detallan en la tabla 34.

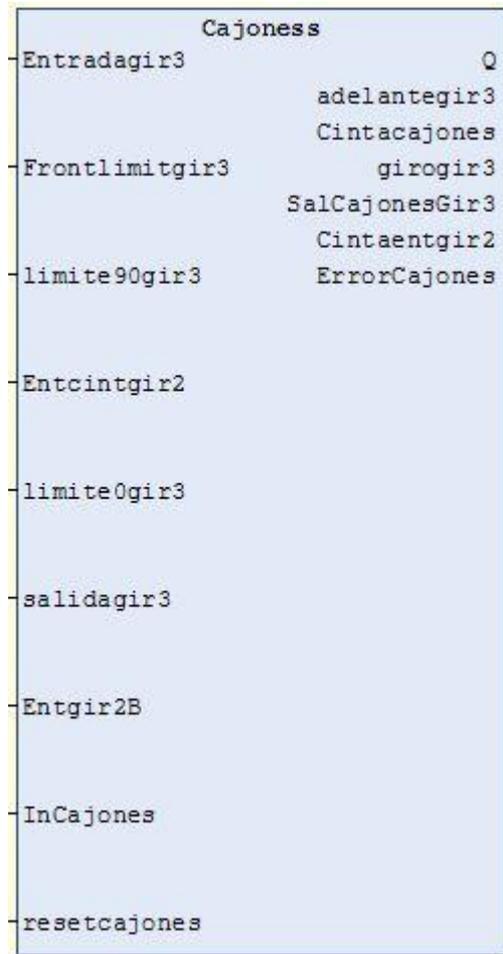


Figura 58. FBD Cajones del almacén automatizado.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Entradagir3	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iEntradagir3
Frontlimitgir3	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iFrontlimitgir3
Limite90gir30	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iLimite90gir30
Entcintgir2	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iEntcintgir2
Limite0gir3	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iLimite0gir3
Salidagir3	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iSalidagir3
Entgir2B	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iEntgir2B

VARIABLES	TIPO	DESCRIPCIÓN
Incajones	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iIncajones
Resetcajones	BOOL	Variable que se conecta con el sensor iResetcajones
Adelantegir3	BOOL	Variable que se conecta con el actuador oAdelantegir3
Cintacajones	BOOL	Variable que se conecta con el actuador oCintacajones
Girogir3	BOOL	Variable que se conecta con el actuador oGirogir3
Salcajonesgir3	BOOL	Variable que se conecta con el actuador oSalcajonesgir3
Cintaentgir2	BOOL	Variable que se conecta con el actuador oCintaentgir2
ErrorCajones	BOOL	Variable que se conecta con el actuador ErrorCajones que me marca si existe algún error en esta parte de la planta
Preferenciacajones	BOOL	Variable que se conecta con la variable global Preferenciacajones y me marca que los cajones tienen preferencia en la giradora 2
TratError	TON	Temporizador para el tratamiento de error de los cajones
VarTIMEerror	TIME	Variable donde se guarda el tiempo del temporizador
ActTemp	BOOL	Variable que me activa el temporizador
FT	BOOL	Variable que señala el fin de la temporización
TratErrorCajones_0	TratError	POU tipo FBD que maneja el tratamiento de error de los cajones

Tabla 34. Variables de la POU Cajones del Almacén Automatizado

En las figuras 59 y 60 tenemos los bloques funcionales que manejan las cintas giradoras 1 y 2.

Las entradas a ambos bloques son los sensores que tienen las cintas giradoras, excepto en la giradora 2 que también tiene 'preferenciacajones' que cuando está a TRUE marca que tienen preferencia de paso los palets con los cajones en vez de los palets que vienen del lado de la paletizadora y del brazo pick and place, que es debido para evitar demasiado tiempo de espera por parte de los palets con cajones.

Las salidas de sendos bloques serán los actuadores que tienen las cintas giradoras además de, en la giradora 1 'InCajas' e 'InPaletizadora' para marcar que palet tiene preferencia de paso y en la giradora 2 'InA' e 'InCajones' para indicar también que lado tiene preferencia de paso en ese momento.

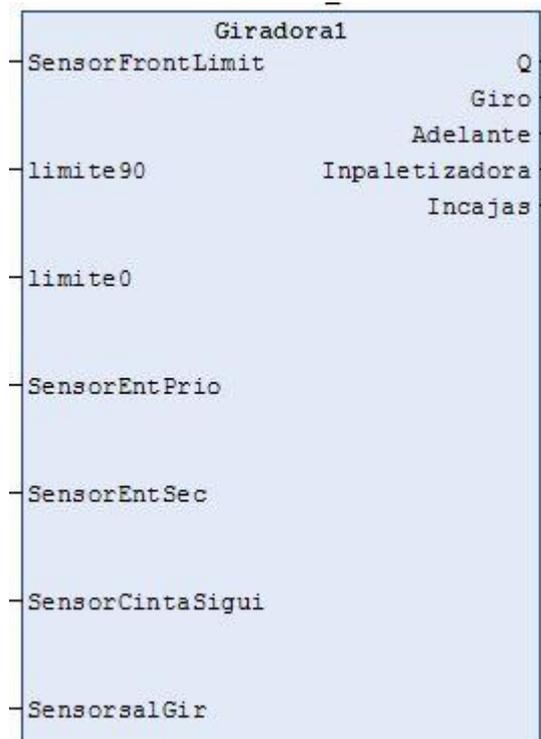


Figura 59. FBD Giradora1 del almacén automatizado.

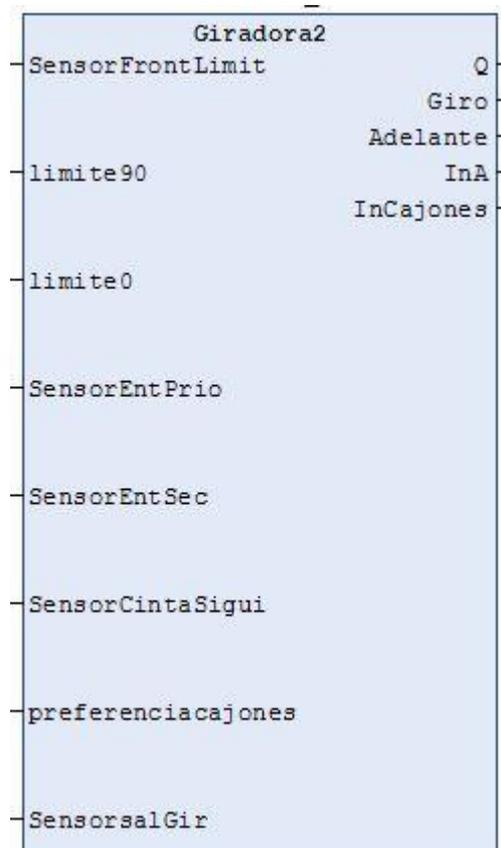


Figura 60. FBD Giradora2 del almacén automatizado.

Anexo B. CD con código ejercicios CODESYS

Se adjunta un CD con tres carpetas, “Sorting by Weight”, “Level Control” y “Almacén Automatizado” en el que están los archivos de codesys correspondientes a cada ejercicio.