



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA LINEA AUTOMATIZADA DE MECANIZADO, CLASIFICACION Y EMBALAJE DE PIEZAS

AUTOR: JUAN ANTONIO TORRECILLA MELERO

TUTOR: RICARDO PIZA FERNANDEZ

Curso Académico: 2019-20

RESUMEN

En el siguiente trabajo fin de máster se expone un proyecto de ingeniería el cual consiste en un proyecto de diseño y puesta en marcha de una instalación de mecanizado, clasificación y embalaje completamente automatizada.

El proyecto incluirá la definición del proceso, selección de los elementos y maquinaria necesaria, así como los actuadores y sensores.

Finalmente se desarrollarán todos los programas necesarios para el funcionamiento de la instalación, incluyendo los interfaces HMI necesarios para un correcto funcionamiento del sistema.

Asimismo, se desarrollará una herramienta de validación de la solución aportada desarrollando una simulación de la planta.

Palabras clave: Automatización industrial, PLC, brazo robot, HMI, sistemas distribuidos.

RESUM

En el següent treball fi de màster s'exposa un projecte d'enginyeria el qual consisteix en un projecte de disseny i posada en marxa d'una instal·lació de mecanitzat, classificació i embalatge completament automatitzada.

El projecte inclourà la definició del procés, selecció dels elements i maquinària necessària, així com els actuadors i sensors.

Finalment es desenvoluparan tots els programes necessaris per al funcionament de la instal·lació, incloent les interfícies HMI necessaris per a un correcte funcionament de sistema.

Així mateix, es desenvoluparà una herramienta de validació de la solució aportada desenvolupant una simulació de la planta.

Paraules clau: Automatització industrial, PLC, braç robot, HMI, sistemes distribuïts.

ABSTRACT

In the following master's thesis, an engineering project is presented, which consists of a design project and commissioning of a fully automated machining, sorting and packaging facility.

The project will include the definition of the process, selection of the elements and necessary machinery, as well as the actuators and sensors.

Finally, all the programs necessary for the installation will be developed, including the HMI interfaces necessary for the correct operation of the system.

Also, a validation tool for the solution provided will be developed by developing a simulation of the plant.

Key words: Industrial automation, PLC, robot arm, HMI, distributed systems.

ÍNDICE

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	8
INDICE DE TABLAS	11
1. INTRODUCCION	12
2. OBJETIVOS	13
3. Automatización	14
3.1 Automatización industrial	14
3.1.1 DCS	14
3.1.2 Interfaces hombre-máquina HMI.....	14
3.1.3 Robots colaborativos.....	15
3.1.4 Sistemas de visión artificial	15
3.1.5 Robots de coordenadas cartesianas	15
3.1.6 AGV (Automated Guided Vehicles o Vehículos Guiados Automáticamente)	16
3.1.7 Redes de comunicación y protocolos.....	16
3.2 Automatización TI	16
4. Línea de producción	17
4.1 Diseño de la línea	17
4.1.1 Transporte de la materia prima y del producto acabado	19
4.1.2 Mecanizado de la materia prima	19
4.1.3 Clasificación del producto	20
4.1.4 Embalaje automático en pallets.....	21
4.1.5 Almacenaje automático en estantería	22
4.2.1 Materiales y máquinas necesarios	23
4.2.1 Materia Prima.....	23
4.2.2 Sensores	23
4.2.3 Actuadores simples	24
4.2.4 Actuadores de manipulación.....	27
4.2.5 Hardware.....	29
5. Programación	31
5.1 PLC.....	31
5.1.1 Software	31
5.1.2 Lógica de la programación	33

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

5.2 Human Machine Interface (HMI)	39
5.2.1 Panel de usuario	40
5.2.3 Estado de la célula robotizada	40
5.2.4 Estado zona de clasificación por color	41
5.2.5 Estantería almacén automático	42
6. Pliego de condiciones.....	43
6.1 Pliego de condiciones generales	43
6.2 Pliego de especificaciones técnicas.....	44
6.2.1 Hardware y maquinaria.....	44
6.2.2 Orden de cumplimiento	50
6.3 Pliego de cláusulas administrativas (PCA).....	50
7. Presupuesto.....	51
7.1 Hardware y maquinaria.....	51
7.2 Software	52
7.3 Recursos Humanos.....	53
8. CONCLUSIONES	55
9. BIBLIOGRAFIA	56
ANEXO: Programa simulación 3D industrial Factory I/O	58
Conexión entre Factory I/O y PLC	62
ANEXO: Siemens TIA Portal.....	63
Programación Ladder Siemens TIA Portal.....	64
Segmentos.....	64
Funciones	69
FC1: EMBALAR.....	69
FC2: RODILLOSALTOS	69
FC3: RETORNOPOSINI.....	70
FC4: AUTOSTANT.....	70
FC5: AUTOSTANTPOSINI.....	70
ANEXO: Tablas de variables.....	71
Entradas / Inputs.....	71
Salidas / Outputs	72

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sistema de control distribuido. Fuente: Elaboración propia.....	14
Ilustración 2. Imagen de cobot Fuente Sitio web ‘Cobots’de Iberdrola:	15
Ilustración 3. AGV Amazon. Fuente: CNET news sitio web.	16
Ilustración 4. Layout línea de producción. Fuente: Elaboración propia.	18
Ilustración 5. Vista en perspectiva de la línea con programa de simulación. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	18
Ilustración 6. Simulación 3D de la etapa de mecanizado. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	19
Ilustración 7. Simulación 3D etapa clasificación del producto mecanizado. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	20
Ilustración 8. Accionamiento del brazo separador una vez la pieza es detectada por el sensor. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	20
Ilustración 9. Simulación 3D etapa de embalaje automático. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.....	21
Ilustración 10. Cambio automático de pallets piezas verdes o azules. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.....	21
Ilustración 11. Simulación 3D grúa almacenamiento automático. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.....	22
Ilustración 12. Clasificación del pallet lleno en el siguiente hueco disponible de la estantería. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	22
Ilustración 13. Ejemplo de pieza mecanizada del proceso. Fuente: Sitio web ‘solostocks.com’.	23
Ilustración 14. Sensor infrarrojo de detección. Fuente: Sitio web ‘eenergie-shop.es’	23
Ilustración 15. Sensor de color para clasificación de piezas mecanizadas. Fuente: Sitio web ‘automation24.es’	24
Ilustración 16. Cinta transportadora. Fuente: Sitio web ‘ultimationinc.com’	24
Ilustración 17. Cinta de rodillos. Fuente: Sitio web ‘ultimationinc.com’	25
Ilustración 18. Listón de rodillos. Fuente: Sitio web ‘kaiserkraft.es’	25
Ilustración 19. Cinta de transferencia. Fuente: Sitio web ‘multi-conveyor.com’	26
Ilustración 20. Brazo separador para clasificación de piezas. Fuente: Sitio web ‘unceasegroup.com’	26
Ilustración 21. Brazo robótico KUKA. Fuente: Sitio web ‘spanish.alibaba.com’	27
Ilustración 22. Máquina de mecanizado CNC. Sitio web ‘neoferr.com’	27
Ilustración 23. Máquina de manipulación de piezas en 3 ejes. Fuente: Sitio web ‘es.aliexpress.com’	28

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Ilustración 24. Grúa de almacenamiento automático. Fuente: Sitio web ‘jungheinrich.cn’.	28
Ilustración 25. S7-1500 CPU 1512C-1 PN. Fuente: Productos oficiales de Siemens.	29
Ilustración 26. Modulo analógico de salida SM532. Fuente: Productos oficiales de Siemens. ..	29
Ilustración 27. Pantalla HMI. Fuente: Productos oficiales de Siemens.	30
Ilustración 28. Esquema de interconexiones entre los elementos del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	30
Ilustración 29. Ejemplo programación KOP y FUP. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	31
Ilustración 30. Ejemplo programación SCL. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	31
Ilustración 31. Ejemplo programación GRAFCET. Fuente: Sitio web ‘wikipedia.org’	32
Ilustración 32. Cuadro eléctrico. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	34
Ilustración 33. Diagrama de flujo cuadro eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	34
Ilustración 34. Diagrama de flujo célula robotizada. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 35. Diagrama de flujo clasificación por color. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 36. Diagrama de flujo embalaje de piezas. Fuente: Elaboración propia.	36
Ilustración 37. Diagrama de flujo grúa almacenamiento automático. Fuente: Elaboración propia.	37
Ilustración 38. Esquema de programación general. Fuente: Elaboración propia.	38
Ilustración 39. Pantalla HMI. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	39
Ilustración 40. Panel de usuario tras pulsar START (izquierda) y STOP (derecha). Fuente: Elaboración propia TIA Portal	40
Ilustración 41. HMI máquina de mecanizado abierta. Fuente: Elaboración propia.	40
Ilustración 42. HMI máquina de mecanizado cerrada. Fuente: Elaboración propia.	40
Ilustración 43. Sensor de color al salir de célula robotizada detecta pieza azul. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 44. HMI cintas clasificación de producto. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 45. HMI máquina de embalaje funcionando. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 46. HMI cambio automático de pallet. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 47. HMI Estantería automática. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 48. Simulación 3D de materia prima. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	58
Ilustración 49. Simulación 3D de cinta transportadora. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	58
Ilustración 50. Simulación 3D de célula robotizada. Fuente: Elaboración propia Factory I/O. ..	59
Ilustración 51. Simulación 3D de producto mecanizado. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	59

Ilustración 52. Simulación 3D de sensor de color. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	59
Ilustración 53. Simulación 3D de sensor infrarrojo. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	60
Ilustración 54. Simulación 3D de brazo separador. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	60
Ilustración 55. Máquina de embalaje automático de 3 ejes Factory I/O. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	60
Ilustración 56. Simulación 3D de cinta de rodillos. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	61
Ilustración 57. Simulación 3D de listones de rodillos y cinta de transferencia. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	61
Ilustración 58. Simulación 3D de grúa de almacenamiento automático. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	61
Ilustración 59. Configuración PLC con Factory I/O parte 1. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	62
Ilustración 60. Configuración PLC con Factory I/O parte 2. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.	62
Ilustración 61. Árbol de proyecto Siemens TIA Portal. Fuente: Elaboración propia TIA Portal. .	63
Ilustración 62. Secciones principales Siemens TIA Portal. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	63
Ilustración 63. Segmento 2 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	64
Ilustración 64. Segmento 3.1 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	64
Ilustración 65. Segmento 3.2 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	65
Ilustración 66. Segmento 4 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	65
Ilustración 67. Segmento 5 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	66
Ilustración 68. Segmento 6 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	67
Ilustración 69. Segmento 7 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	68
Ilustración 70. Función 1 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	69
Ilustración 71. Función 2 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	69
Ilustración 72. Función 3 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	70
Ilustración 73. Función 4 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	70
Ilustración 74. Función 5 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hardware necesario para el control automatizado del proyecto	30
Tabla 2. Modulo analógico de salida SM532.....	45
Tabla 3. Sensor infrarrojo.....	45
Tabla 4. Sensor de color	46
Tabla 5. Brazo separador.....	47
Tabla 6. Cinta de transferencia	47
Tabla 7. Centro mecanizado CNC.....	47
Tabla 8. Brazo y mano robóticos para robot industrial KUKA.....	48
Tabla 9. Robot cartesiano de 3 ejes	49
Tabla 10. Grúa de almacenamiento automático.....	49
Tabla 11. Presupuesto Unidad Funcional 1.....	51
Tabla 12. Presupuesto Unidad Funcional 2.....	51
Tabla 13. Presupuesto Unidad Funcional 3.....	51
Tabla 14. Presupuesto Unidad Funcional 4.....	52
Tabla 15. Presupuesto Unidad Funcional 5.....	52
Tabla 16. Presupuesto Unidad Funcional 6.....	52
Tabla 17. Presupuesto total hardware y maquinaria.....	52
Tabla 18. Presupuesto total Software.....	53
Tabla 19. Presupuesto Ingeniería.....	53
Tabla 20. Presupuesto Montaje	53
Tabla 21. Presupuesto total Recursos Humanos.....	54
Tabla 22. Presupuesto total proyecto.....	54
Tabla 23. Entradas / Inputs	71
Tabla 24. Variables de memoria.....	72
Tabla 25. Salidas / Outputs	73

1. INTRODUCCION

El siguiente proyecto consiste en el diseño e instalación de una línea industrial, con operaciones de mecanizado, clasificación, embalaje y almacenamiento de piezas completamente automatizada. El principal objetivo de este proyecto es conseguir una mayor destreza con el hardware y software que suele ser utilizado en el sector de automatización industrial. Por otro lado, también busca reforzar los conocimientos teóricos vistos durante la especialidad del máster universitario de ingeniería industrial.

Para el diseño de la línea de producción se ha hecho un análisis de diferentes líneas de producción existentes en la actualidad y de las tecnologías de automatización más utilizadas actualmente. También, se ha buscado el uso de una gran variedad de actuadores, sensores, máquinas y robots para lograr un mayor aprendizaje.

Una vez claro el diseño se han tenido en cuenta las entradas y salidas necesarias para el proyecto para elegir un módulo de PLC adecuado para el control automatizado de la línea. Para la programación del PLC se ha optado por usar el software de Siemens TIA Portal.

El software TIA Portal incluye el software WinCC con el que se ha programado una HMI (Human Machine Interface) para poder ver lo que ocurre en la línea y modificar el programa del PLC desde una pantalla externa sin necesidad de ir físicamente a la instalación.

Por último, se ha hecho un pliego de condiciones que recoge las condiciones técnicas necesarias para el correcto desarrollo del proyecto y un presupuesto en el que se puede ver el desglose de costes.

2. OBJETIVOS

- Estudiar las tecnologías actuales disponibles para el diseño e instalación de una línea industrial. Realizar todas las etapas necesarias en un proyecto de puesta en marcha: Diseño de la instalación, elección de materiales y maquinaria al mejor coste, programación de la instalación, documentación y montaje mecánico.
- Analizar el mercado actual y a partir de la variedad de dispositivos y equipos de automatización industrial diseñar un proceso completamente automatizado desde la obtención de la materia prima hasta el embalaje del producto acabado.
- Profundizar en los conceptos de programación de autómatas y diseño de procesos vistos en asignaturas como “Tecnología automática” y “Diseño y aplicación de equipos industriales”. En concreto, se ha utilizado lógica de contactos y lenguaje de alto nivel SCL mediante el software TIA Portal v15 de Siemens.
- Estudiar la normativa vigente para diseñar una instalación de automatización industrial (Pliego de condiciones). Elaborar un proyecto real que pueda llevarse a la práctica fuera del ámbito académico.
- Realizar una simulación 3D de la instalación para poder comprobar la correcta programación de esta y la compatibilidad mecánica de todos sus componentes. Es una herramienta muy útil para hacer una aproximación acerca del material necesario para el proyecto y también puede ser ventajoso para venderlo a posibles clientes.
- Hacer un desglose de la inversión necesaria para asumir el proyecto y analizar su viabilidad económica. Ésta será función del presupuesto total obtenido y las posibles aplicaciones del proyecto.

3. Automatización

3.1 Automatización industrial

La automatización industrial consiste en el uso de dispositivos o máquinas en procesos industriales para realizar funciones repetitivas y reducir de esta manera la intervención humana lo máximo posible.

A parte de automatizar tareas mecánicas, garantiza a la hora de producir una repetibilidad muy alta con pocos errores y bajos tiempos de ciclo. Además, reduce el estrés, la fatiga de los empleados y puedes destinar estos a tareas más cualificadas.

En cuanto a las desventajas, la automatización industrial requiere de una alta inversión, disminuye la flexibilidad del proceso a la hora de adaptarlo a otros trabajos, requiere una mayor supervisión y control del proceso.

La automatización industrial es un sector en constante mejora haciendo las industrias cada vez más competitivas y rentables. Además, tiene una gran importancia en la Industria 4.0 completamente digitalizada cada día más cercana.

3.1.1 DCS

Un concepto muy ligado a la automatización industrial es el de los DCS o sistemas de control distribuido. Estos están formados por diferentes niveles de automatización: nivel de campo (sensores y actuadores), nivel de control (PLCs o autómatas programables), nivel de supervisión, nivel MES (Manufacturing Execution System: Documentar y rastrear el proceso desde la materia prima hasta el producto acabado) y el nivel ERP (Enterprise Resource Planning: Integración de las operaciones internas desde la producción hasta la distribución en un solo programa).



Ilustración 1. Sistema de control distribuido. Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Interfaces hombre-máquina HMI

Como su propio nombre indica se usan para comunicarse con máquina, ordenadores o PLCs dentro de una instalación industrial. Son utilizadas tanto para monitorear, controlar e introducir datos del proceso tales como grado de apertura de válvulas, temperaturas, etc.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

3.1.3 Robots colaborativos

Los robots colaborativos también denominados cobots (colaboración y robot) buscan combinar las ventajas de los operarios con las de un robot industrial. Generalmente el robot se encarga de tareas que suponen un riesgo para los trabajadores mientras el operario realiza otras tareas relacionadas.

Estos cobots están programados para detenerse en cuanto detecta la presencia de un operario cerca de él.

Todas estas ventajas unido a su conveniencia en diferentes sectores (la industria automotriz, la construcción, sanidad, etc.) no deja lugar a dudas a que los cobots serán indispensables en la industria del futuro.



Ilustración 2. Imagen de cobot Fuente Sitio web 'Cobots' de Iberdrola:

3.1.4 Sistemas de visión artificial

Los sensores de visión, cámaras inteligentes y sistemas de visión integrados se utilizan para obtener, procesar y examinar imágenes con el objetivo de mejorar los procesos de producción.

En la automatización industrial son principalmente utilizados para la inspección y ensamblaje de piezas. Verificar si una pieza tiene todos sus componentes, analizar posibles defectos de ensamblaje o diseño, realizar cálculos computaciones en base a imágenes a una gran velocidad, etc.

3.1.5 Robots de coordenadas cartesianas

También denominados robots cartesianos, son robots cuyos ejes forman ángulos rectos entre sí y se mueven en línea recta (sin rotar). Son muy utilizados en la industria para aplicaciones como máquinas de control numérico, manipulación de piezas, líneas de pintura, etc. Generalmente tienen el eje horizontal apoyado en un pórtico

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

3.1.6 AGV (Automated Guided Vehicles o Vehículos Guiados Automáticamente)

Como su propio nombre indica estos vehículos no precisan de un conductor para desarrollar las tareas para las que fueron creados. Son utilizados mayormente para el transporte de mercancías dentro de las industrias.



Ilustración 3. AGV Amazon. Fuente: CNET news sitio web.

3.1.7 Redes de comunicación y protocolos

La conexión entre dispositivos y el control e intercambio de sus datos se realiza por medio de las redes de comunicación ya sea por cable o de manera inalámbrica.

Los protocolos de comunicación industrial más habituales hoy en día son:

- DeviceNet (para interconectar dispositivos como sensores, actuadores, ...)
- Modbus TCP/IP (para PLCs, PCs y otros equipos industriales se comuniquen por una red Ethernet).
- PROFINET (Ethernet en tiempo real)
- PROFIBUS (Red de campo abierto e independiente de proveedores)

3.2 Automatización TI

En una empresa también es importante la automatización ligada a los datos o información que se mueve en la misma.

La automatización TI (Tecnología de la información) se basa en el uso de softwares con el objetivo de disminuir trabajos repetitivos de los empleados que tienen un gran volumen de datos. Entre sus principales aplicaciones destacan:

- Gestión de stock automático.
- Aumento de eficiencia en gestión de la información.
- Control total de la economía de la empresa.
- Reduce la inversión de tiempo de los empleados en tareas tediosas.

4. Línea de producción

4.1 Diseño de la línea

El proceso industrial o también denominado proceso de fabricación es el conjunto de operaciones necesarias para transformar la materia prima en un producto acabado. Esta materia prima es separada, modificada y finalmente almacenada.

Comúnmente, las diferentes etapas de un proceso industrial son:

- Contacto y manipulación de la materia prima
- Transformación de esta materia prima
- Creación del producto acabado
- Almacenaje del producto final

De estas cuatro etapas la más influyente en el coste total de la instalación suele ser la de transformación de la materia prima. Las técnicas más comunes de transformación de la materia prima son: molde, conformado o deformación plástica, procesos con arranque de material, tratamiento térmico y tratamiento superficial.

Teniendo en cuenta esto, en el diseño de la línea de producción de este proyecto se ha buscado utilizar la mayor variedad de actuadores y sensores a la par que realizar un proceso completamente automatizado desde la salida de la materia prima hasta el embalaje y almacenamiento del producto final. Para la transformación de la materia prima se ha optado por un proceso de mecanizado

Por tanto, las diferentes etapas que recorre la materia prima hasta obtener el producto final almacenado son las siguientes:

1. Transporte de la materia prima a la zona de mecanizado.
2. Mecanizado de la materia prima.
3. Clasificación del producto mecanizado.
4. Embalaje automático en pallets
5. Embalaje automático en estantería.

A continuación, se muestra el Layout adoptado para la instalación y una vista en perspectiva realizada con un simulador.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

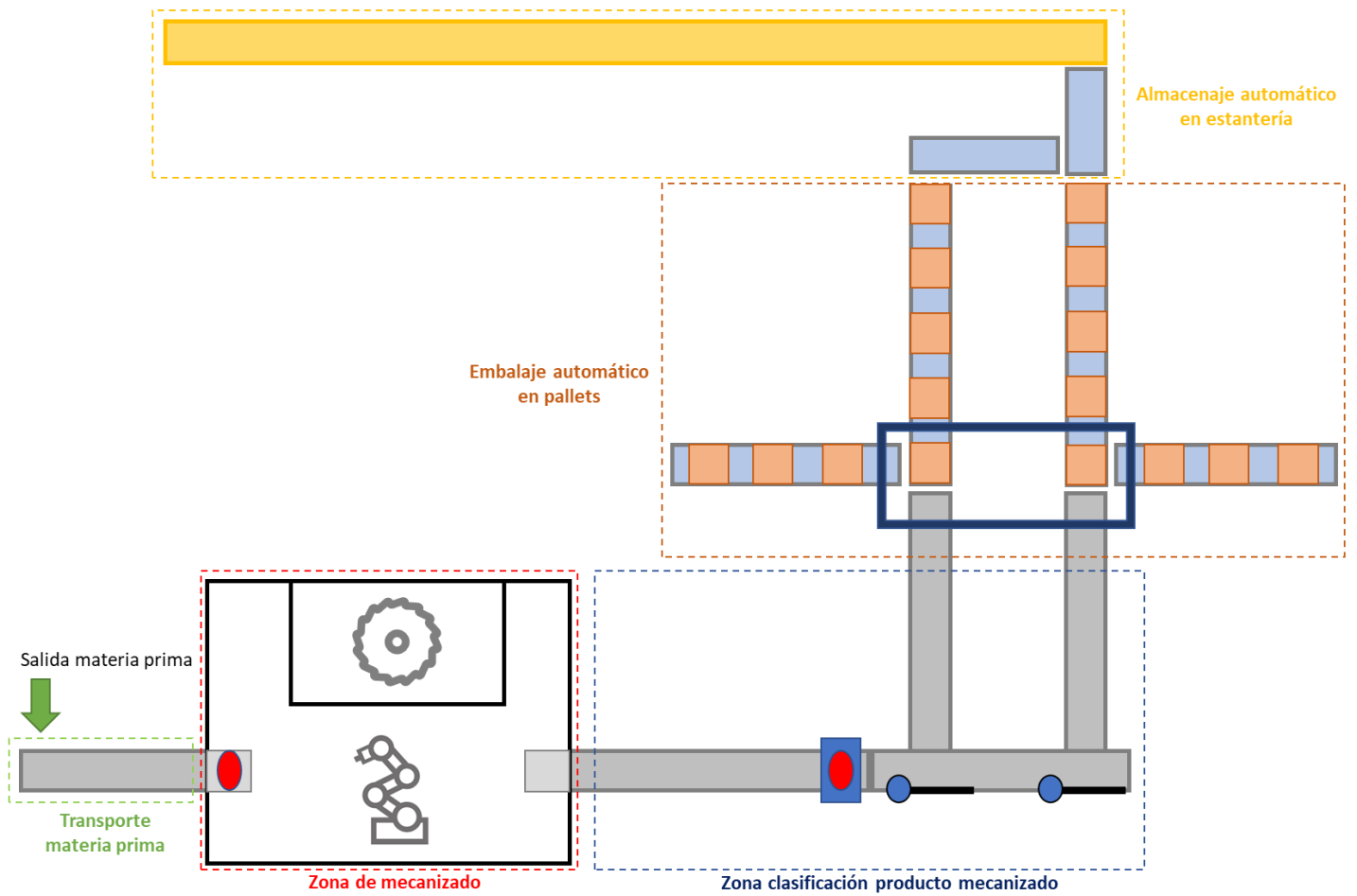


Ilustración 4. Layout línea de producción. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 5. Vista en perspectiva de la línea con programa de simulación. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

4.1.1 Transporte de la materia prima y del producto acabado

Para el transporte y la manipulación de la materia prima se ha optado por el uso de cintas transportadoras ya que estas poseen una gran capacidad de transporte y pueden ser utilizadas con una gran variedad de materiales, lo que le da al propietario de la instalación una gran variedad de formas de explotación de esta.

Una vez el producto final es almacenado en pallets, estos son transportados mediante cintas de rodillos ya que al estar el producto correctamente embalado y protegido no precisan de un transporte cuidadoso como el de las cintas transportadoras lisas. Además, si se usasen cintas transportadoras la superficie de los pallets podría dañar la cinta.

4.1.2 Mecanizado de la materia prima

En esta etapa la materia prima es transportada por la cinta transportadora hasta la célula robotizada donde es detectada por el sensor de color. Después, el brazo robótico sale de su posición inicial e introduce la materia prima en la máquina de mecanizado. Una vez acabado el mecanizado el robot coge la pieza mecanizada y la deposita en la siguiente cinta transportadora donde continuará el proceso.

Lo que se busca en esta parte del proceso es la interacción conjunta de cintas transportadoras, sensores y una célula robotizada. Los brazos robóticos y las cintas transportadoras están presentes en una gran cantidad de empresas y como aprovechar estos recursos y hacer que trabajen conjuntamente es imprescindible en este sector.

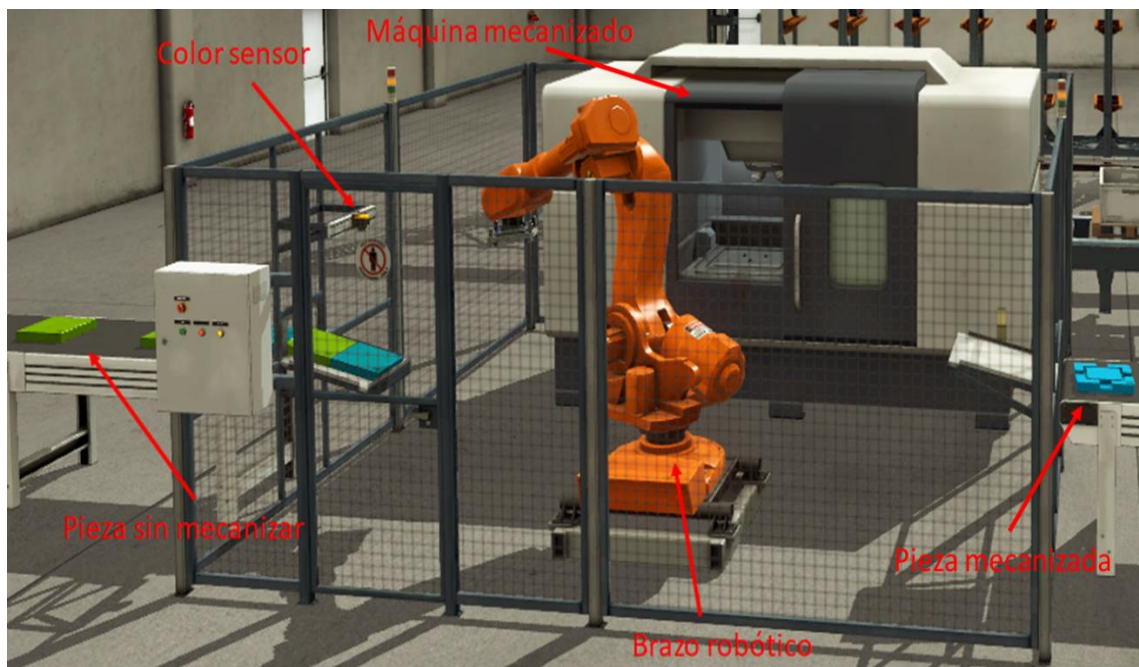


Ilustración 6. Simulación 3D de la etapa de mecanizado. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

4.1.3 Clasificación del producto

Una vez la pieza ha sido mecanizada, ésta se clasifica acorde a un criterio, para hacerlo visual en la simulación se han clasificado las piezas según el color. El sensor de color manda una señal al brazo separador correspondiente para enviarlo hacia la cinta más cercana (piezas azules o piezas tipo 1) o la siguiente (piezas verdes o piezas tipo 2). Gracias a los alineadores del final la pieza queda bien colocada para la siguiente etapa de embalaje.

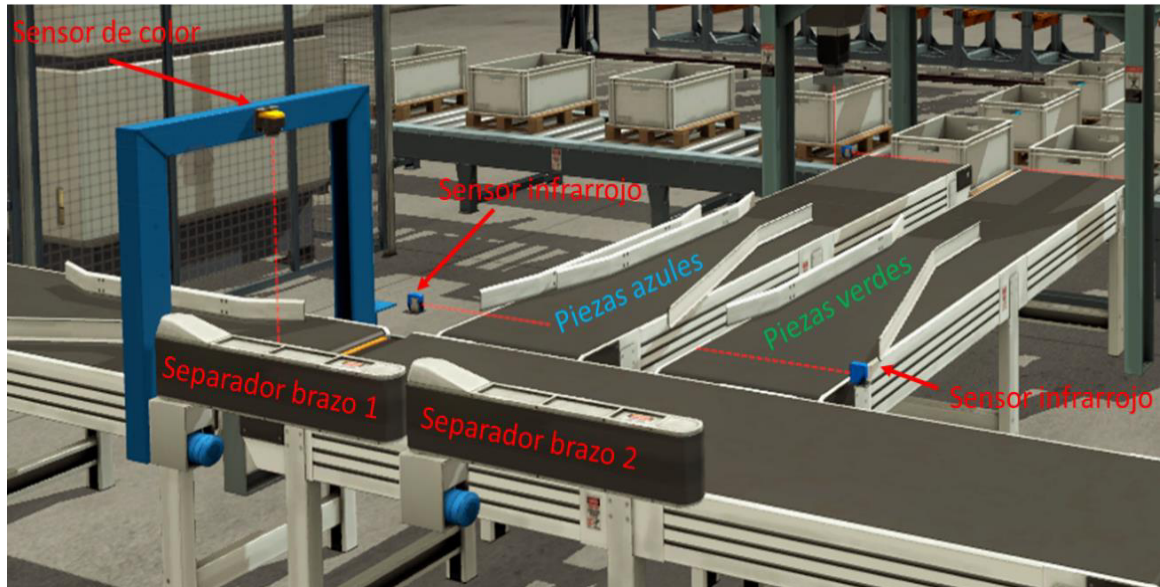


Ilustración 7. Simulación 3D etapa clasificación del producto mecanizado. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

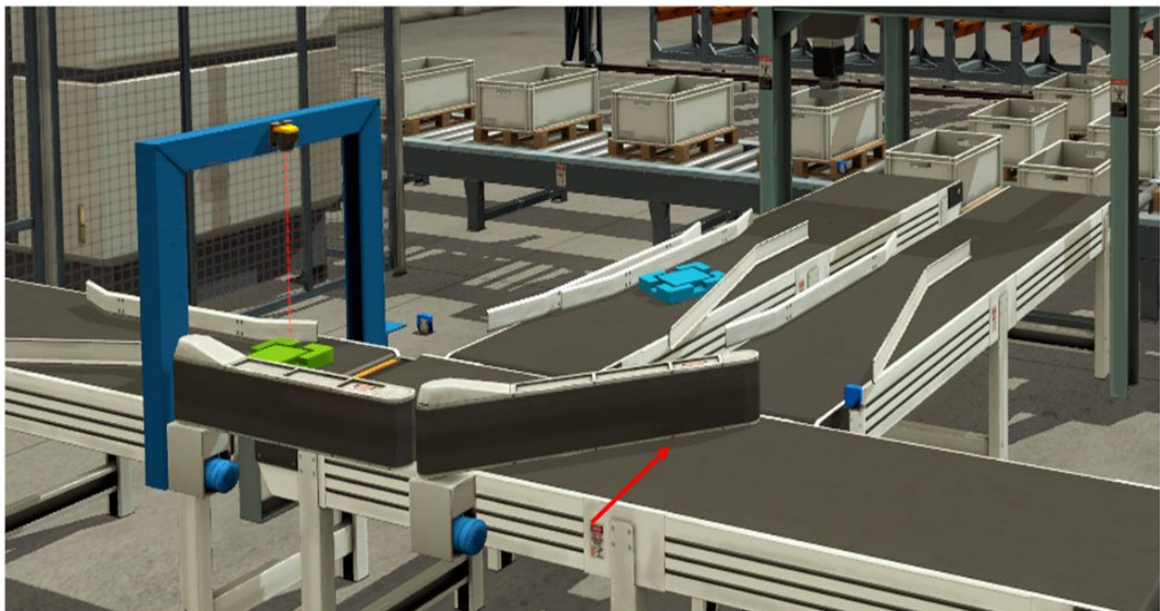


Ilustración 8. Accionamiento del brazo separador una vez la pieza es detectada por el sensor. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

4.1.4 Embalaje automático en pallets

Una vez la pieza mecanizada es detectada por un sensor infrarrojo situado al final de la cinta ésta se detiene. Después, la máquina de manipulación de tres ejes se coloca dónde está la pieza y la coge. Tras esto la máquina mueve la pieza donde se encuentra el pallet y la deja caer. En las siguientes imágenes se puede ver la secuencia de las operaciones de la máquina de manera más visual.

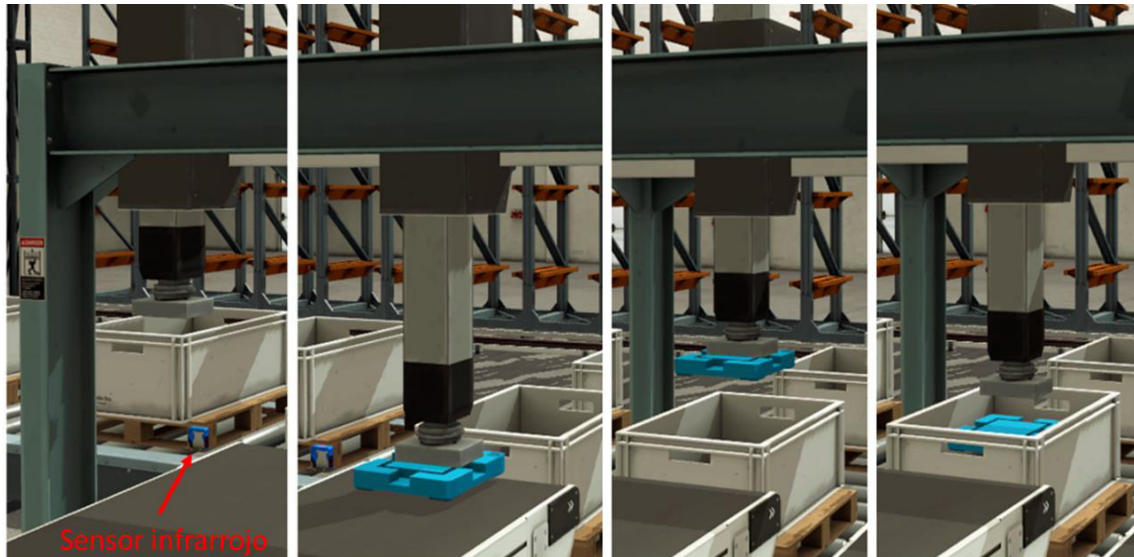


Ilustración 9. Simulación 3D etapa de embalaje automático. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Cuando se han embalado 5 piezas en un mismo pallet se procede al cambio automático del mismo. La hilera de pallets acabados avanza y cuando deja espacio a la hilera de pallets nuevos vacíos se coloca en el sitio donde estaba antes el pallet acabado.

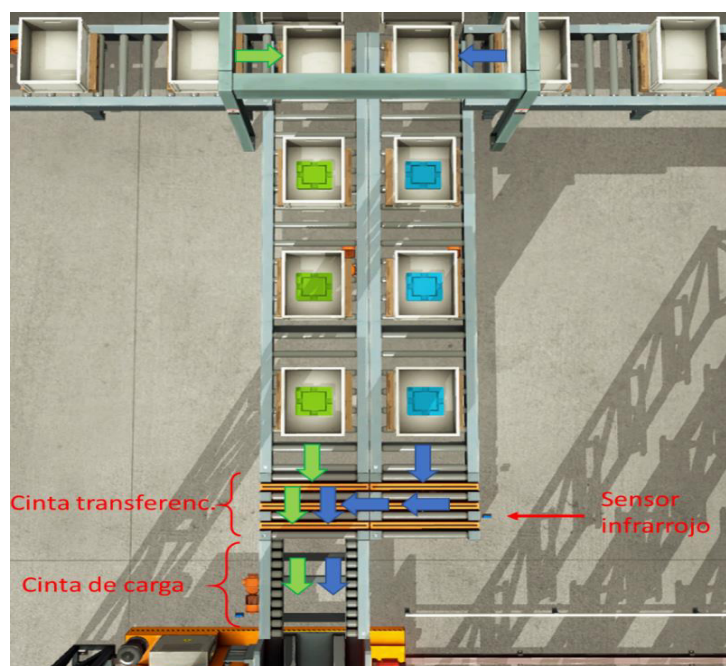


Ilustración 10. Cambio automático de pallets piezas verdes o azules. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

En la imagen anterior se puede observar el flujo de los diferentes productos finales embalados hacia la grúa de almacenamiento. También se observa como con las piezas azules se utiliza la cinta de transferencia para realizar un movimiento transversal y poder llegar a la cinta de carga.

4.1.5 Almacenaje automático en estantería

Por último, se depositan los pallets con el producto acabado en estanterías por medio de una grúa de almacenamiento automático. De esta forma se reduce el gasto de carretillas elevadoras para este fin y se obtiene un proceso completamente automatizado desde la materia prima hasta el almacenamiento final.

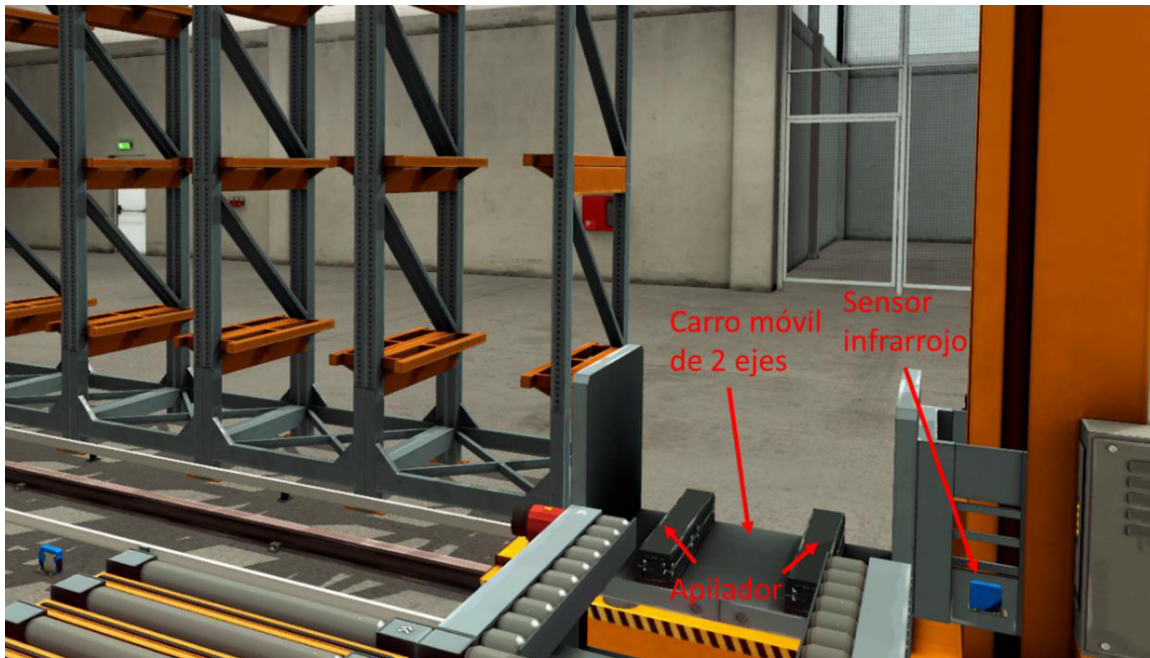


Ilustración 11. Simulación 3D grúa almacenamiento automático. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

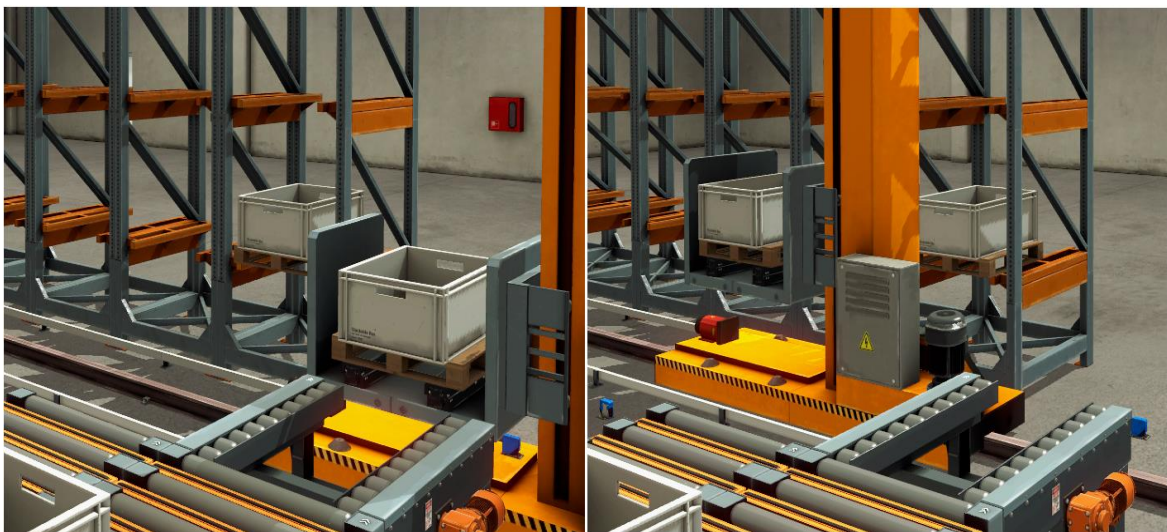


Ilustración 12. Clasificación del pallet lleno en el siguiente hueco disponible de la estantería. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

4.2.1 Materiales y máquinas necesarios

4.2.1 Materia Prima

Para la línea de producción se ha pensado en una máquina de mecanizado CNC. Por este motivo como materia prima están las opciones de plástico, latón, hierro, acero inoxidable y aluminio.



Ilustración 13. Ejemplo de pieza mecanizada del proceso. Fuente: Sitio web 'solostocks.com'.

La pieza de la imagen podría ser un ejemplo de uno de los productos que se podría hacer con la línea desarrollada en este proyecto. El tipo de piezas que se mecanicen y su material dependerán de los clientes con los que trabaje la empresa compradora del proyecto.

El aluminio será una buena opción para los soportes de los sensores, alineadores del producto mecanizado y otro tipo de materiales de apoyo debido a su bajo coste y sus buenas propiedades mecánicas.

4.2.2 Sensores

En cuanto a los sensores que serán las entradas (inputs) del PLC, a parte de los botones del cuadro eléctrico y del HMI, se han utilizado sensores infrarrojos, un sensor de color y los sensores incluidos en los actuadores de manipulación.



Ilustración 14. Sensor infrarrojo de detección. Fuente: Sitio web 'eenergie-shop.es'.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.



Ilustración 15. Sensor de color para clasificación de piezas mecanizadas. Fuente: Sitio web 'automation24.es'.

A la hora de elegir estos sensores se ha buscado que tengan una frecuencia de funcionamiento adecuada para trabajar en tiempo real y que tengan un coste medio relativamente con otras opciones disponibles en el mercado.

4.2.3 Actuadores simples

Como actuadores simples que serán las principales salidas (outputs) del PLC tenemos: las cintas transportadoras, cintas de rodillos, brazos separadores, cintas de transferencia y cinta de carga.



Ilustración 16. Cinta transportadora. Fuente: Sitio web 'ultimationinc.com'.

La cinta transportadora cuenta con un motor que es activado por el PLC en función de la programación realizada y de las entradas escogidas. Se utilizan en este proyecto para el transporte de materia prima y de las piezas mecanizadas.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.



Ilustración 17. Cinta de rodillos. Fuente: Sitio web 'ultimationinc.com'.



Ilustración 18. Listón de rodillos. Fuente: Sitio web 'kaiserkraft.es'

Las cintas de rodillos se han utilizado para el transporte de pallets vacíos y llenos y dos listones de rodillos (cinta de carga) para enviar los pallets llenos a la grúa de almacenamiento y poder ser almacenados en la estantería de forma automática.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

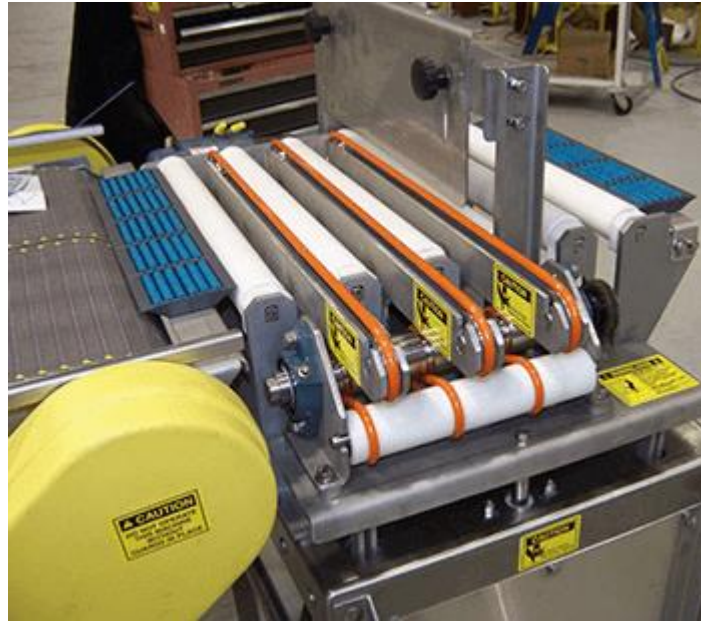


Ilustración 19. Cinta de transferencia. Fuente: Sitio web 'multi-conveyor.com'.

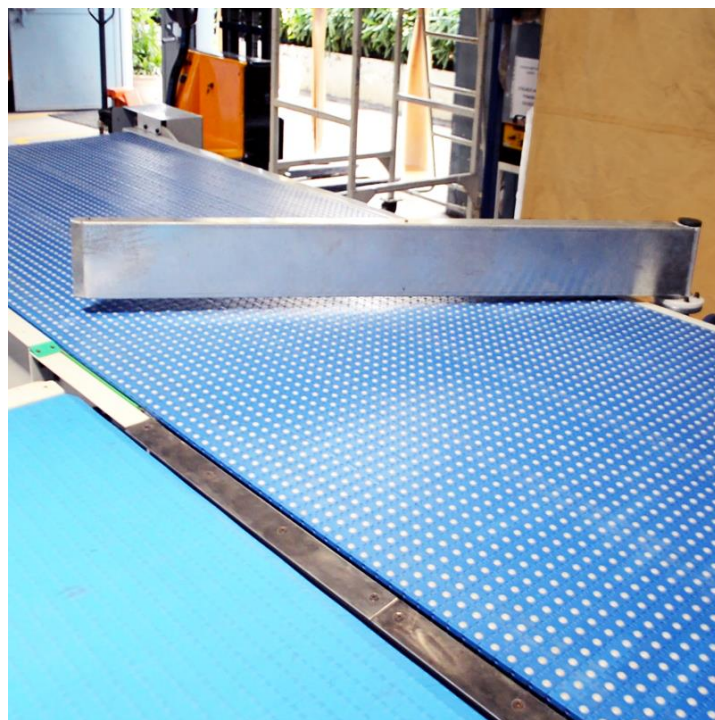


Ilustración 20. Brazo separador para clasificación de piezas. Fuente: Sitio web 'unceasegroup.com'.

La cinta de transferencia como ya se explicó en el apartado [Embalaje automático en pallets Ilustración 6](#) se utiliza para el flujo de los pallets llenos con piezas azules mecanizadas para que puedan ser enviados a la grúa de almacenamiento automático. También se explicó la función del brazo separador en el apartado [Clasificación del producto](#).

Todos los actuadores simples mencionados en este apartado tienen una gran demanda en el mercado por lo que encontrar opciones económicas y funcionales es algo sencillo.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

4.2.4 Actuadores de manipulación

Cuando se usa en este documento el término actuadores de manipulación se hace referencia a la célula robotizada (brazo robot y máquina de mecanizado CNC), la máquina de manipulación de piezas en 3 ejes y la grúa de almacenamiento automático. Estos junto a los actuadores simples mencionados en el apartado anterior será las principales salidas del PLC.



Ilustración 21. Brazo robótico KUKA. Fuente: Sitio web 'spanish.alibaba.com'.



Ilustración 22. Máquina de mecanizado CNC. Sitio web 'neoferr.com'.

Con estas dos máquinas tendríamos los elementos necesarios para la etapa de [Mecanizado de la materia prima](#).

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

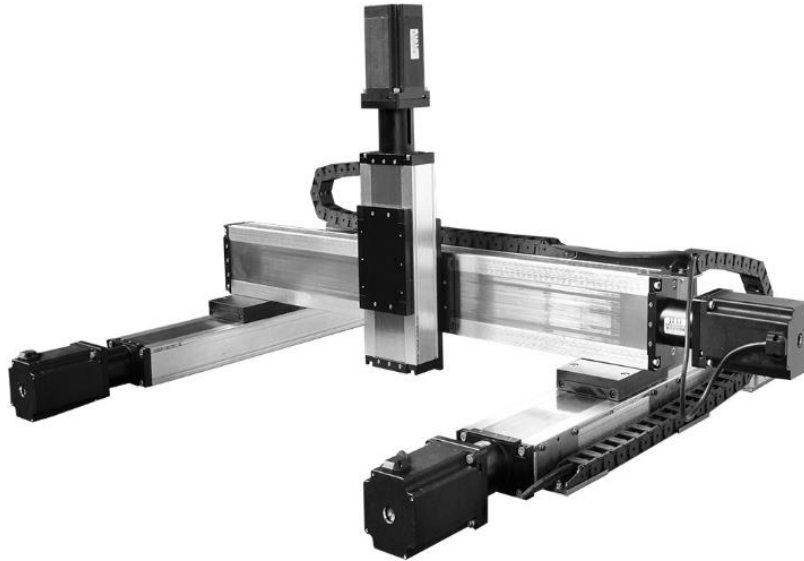


Ilustración 23. Máquina de manipulación de piezas en 3 ejes. Fuente: Sitio web 'es.aliexpress.com'.

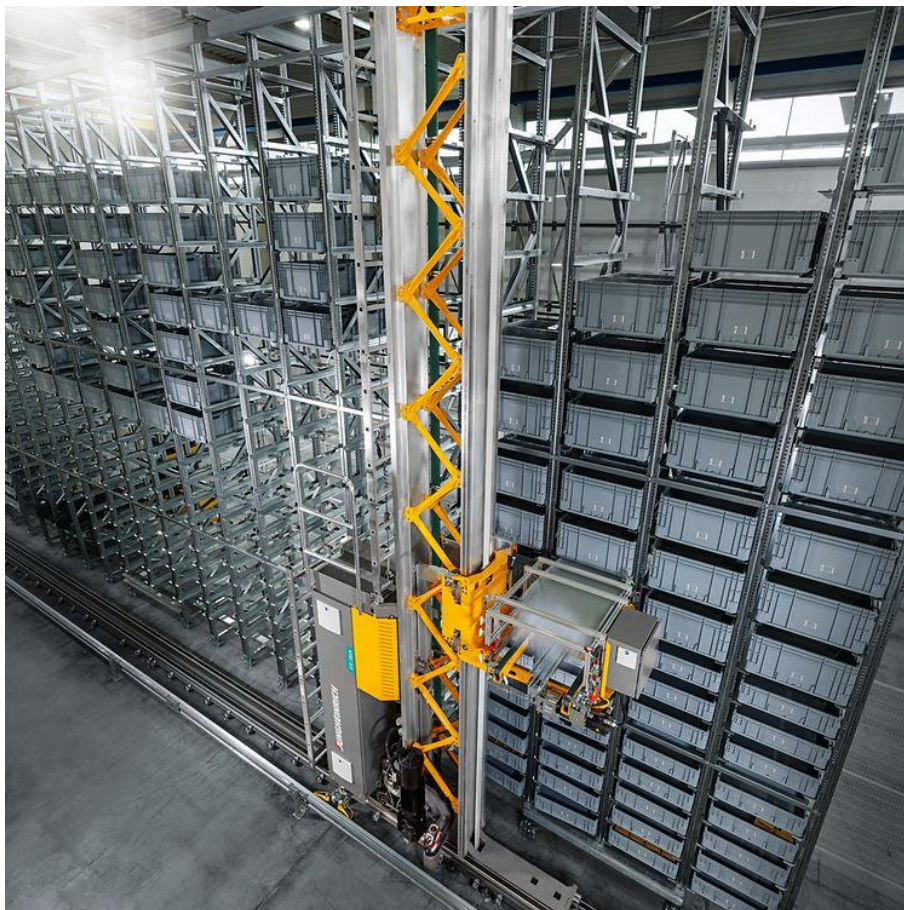


Ilustración 24. Grúa de almacenamiento automático. Fuente: Sitio web 'jungheinrich.cn'.

La inversión en los actuadores presentes en este apartado es muy alta debido a la complejidad de sus mecanismos y por ello se ha hecho una cuidadosa elección de estos para garantizar una rentabilidad del proyecto a largo plazo.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

4.2.5 Hardware

En la programación de la línea se han utilizado 15 entradas digitales, 23 salidas digitales, 4 entradas analógicas y 8 salidas analógicas. Tras un análisis extensivo de las opciones más económicas y teniendo en cuenta el número de entradas y salidas necesarias se ha optado por escoger un controlador avanzado S7-1500 de Siemens con un módulo de salidas analógicas añadido.



Ilustración 25. S7-1500 CPU 1512C-1 PN. Fuente: Productos oficiales de Siemens.



Ilustración 26. Módulo analógico de salida SM532. Fuente: Productos oficiales de Siemens.

Como se puede observar en la siguiente tabla, el módulo de salida analógica es necesario para poder llegar a cubrir el número de salidas analógicas necesarias que se ha obtenido en la sección de programación de la línea que se expondrá en el siguiente apartado.

	CPU 1512C-1 PN	Módulo analógico	Total	Necesarias
<i>Entradas digitales</i>	32	-	32	15
<i>Salidas digitales</i>	32	-	32	23
<i>Entradas analógicas</i>	5	-	5	4
<i>Salidas analógicas</i>	2	8	10	8

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Tabla 1. Hardware necesario para el control automatizado del proyecto



Ilustración 27. Pantalla HMI. Fuente: Productos oficiales de Siemens.

El siguiente esquema muestra un resumen de la interconexión de todos los elementos necesarios para el proyecto.

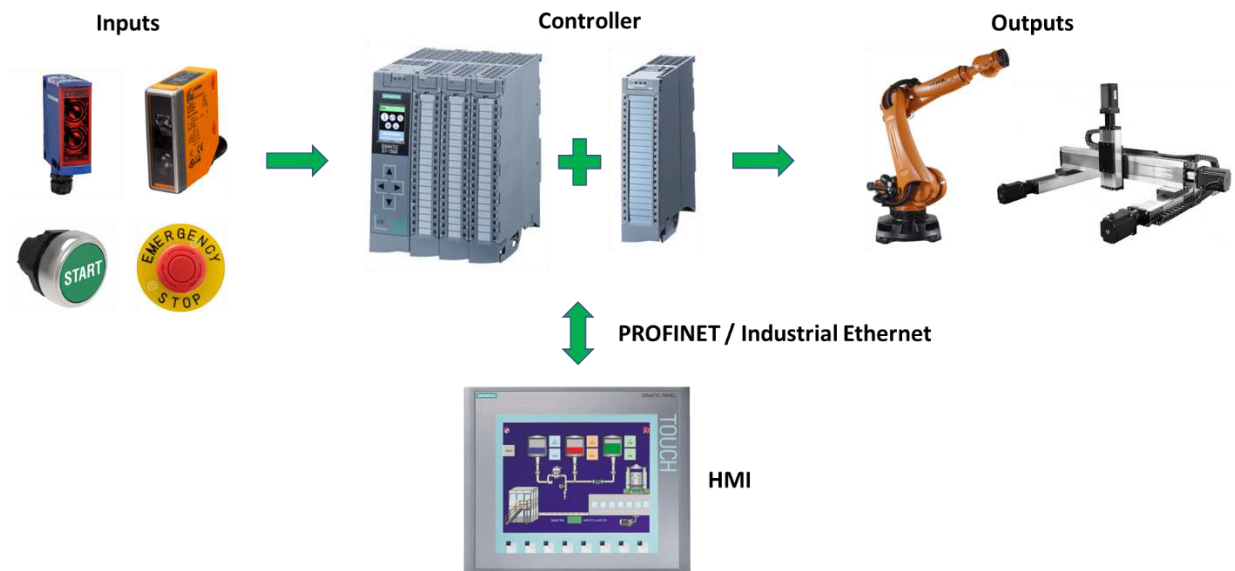


Ilustración 28. Esquema de interconexiones entre los elementos del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

5. Programación

5.1 PLC

5.1.1 Software

La programación del PLC para conseguir un funcionamiento adecuado de la línea y la del HMI para poder comunicarse con el proceso y visualizar los resultados gráficamente se ha realizado con el software TIA Portal v14 de Siemens.

TIA Portal es el resultado del estudio durante años por parte de Siemens en la Totally Integrated Automation (TIA) por lo que con este software aparte de programar autómatas se pueden configurar pantallas HMI (gracias al software Wincc que incluye) interconectadas con el proceso. Este software destaca también por su fácil uso y efectividad.

Existen una gran variedad de lenguajes para programar con este software:

- Lenguaje de contactos o **KOP**: También conocido como Ladder, es de los lenguajes más comunes en programación de autómatas debido a que es muy intuitivo, no obstante, para determinados casos en los que la programación es más compleja se utilizan otros lenguajes.
- Lenguaje de funciones o **FUP**: Es un lenguaje muy visual que tiene las mismas características que el lenguaje KOP de hecho, por medio de un clic el TIA Portal te convierte de un código escrito en KOP a FUP automáticamente.

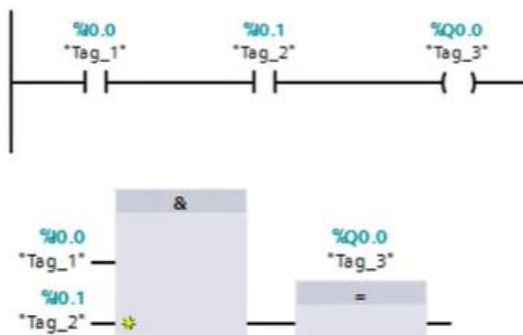


Ilustración 29. Ejemplo programación KOP y FUP. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

- Lenguaje de instrucciones o **AWL**: Programación de alto nivel que se utilizaba en softwares anteriores de Siemens para autómatas.
- Lenguaje de alto nivel **SCL**: Es muy similar a la programación en C y muy útil en casos en que la programación por lógica de contactos es muy compleja.

```
1      #GRAB := 1;  
2      IF #SENSORFINALIZQ = 1 THEN  
3          #SETPOINTY := 0;  
4          #SETPOINTX := 2.7;  
5      IF #SENSORPOSICIONX > 2.6 THEN  
6          #SETPOINTZ := 8.9;  
7          IF #SENSORPOSICIONZ > 8.8 THEN  
8              #GRAB := 1;  
9          END_IF;  
10     END_IF;  
11     END_IF;
```

Ilustración 30. Ejemplo programación SCL. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

- **GRAFSET:** Este lenguaje es ideal en caso de fallo para detectar en qué etapa del proceso se está produciendo. No obstante, no es tan intuitivo como el lenguaje KOP antes mencionado.

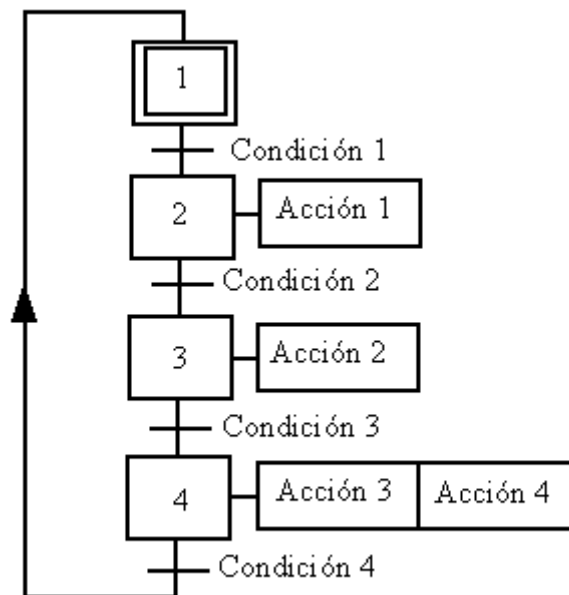


Ilustración 31. Ejemplo programación GRAFCET. Fuente: Sitio web 'wikipedia.org'.

En este proyecto se ha usado sólo programación de lógica de contactos y SCL. No obstante, conocer el resto de los lenguajes de programación es importante a la hora de encontrar diferentes soluciones a un mismo problema.

Para poder programar tenemos que definir unas variables y los tipos que se han utilizado en este proyecto son:

- **BOOL:** Variable de un bit que únicamente puede valer 0 ó 1.
- **INT:** Variable de 16 bits en coma fija.
- **DINT:** Variable de 32 bits en coma fija.
- **REAL:** Variable de 32 bits en coma flotante.

Luego dependiendo de si son entradas o salidas se les asigna una dirección en la tabla de variables:

- **%I:** Input de valor booleano.
- **%ID:** Input de 32 bits en coma fija o coma flotante.
- **%Q:** Output de valor booleano.
- **%QD:** Output de 32 bits en coma fija o coma flotante.
- **%M:** Variable auxiliar de memoria del PLC que almacena el último estado de una variable. Necesaria para programar con flancos de bajada o subida.
- **%DB:** Variables utilizadas para crear temporizadores o contadores.
- **%FC:** Se utiliza para crear funciones con lenguaje SCL.

5.1.2 Lógica de la programación

Tras explicar el diseño de la línea de producción y el flujo del material desde la materia prima hasta el producto final almacenado, se puede proceder a la explicación del código empleado en este proyecto. Como ha comentado en el apartado anterior, los lenguajes utilizados son el de lógica de contactos y SCL.

Otra posibilidad habría sido programar también con GRAFCET y utilizar tres lenguajes de programación. Esto habría hecho más fácil detectar el lugar de los posibles errores que podrían haber surgido durante el funcionamiento de la línea. No obstante, la programación GRAFCET habría creado una dependencia entre etapas que habría hecho más largo el realizar modificaciones en el código.

La programación empleada en este proyecto se ha dividido en 5 segmentos con el objetivo de ser lo más simple posible y poder ser comprendida por cualquier persona que posea un conocimiento mínimo en automatización industrial.

Los segmentos coinciden en su mayoría con la división en procesos que se ha hecho en el diseño de la línea y son los siguientes:

- Segmento 1: Lógica botonera del cuadro eléctrico.
- Segmento 2: Lógica clasificación por color.
- Segmento 3: Lógica embalaje en pallets.
- Segmento 4: Embalaje automático pallets vacíos y llenos.
- Segmento 5: Estantería automática.

En los siguientes subapartados se explica de manera lógica y por medio de diagramas de flujo la programación de los segmentos mencionados.

Mediante este apartado se busca una comprensión completa de la lógica de programación utilizada. Por ello si es necesario por algún motivo utilizar otro hardware de control se podría reproducir esta parte del proyecto utilizando un software distinto al que se muestra en el anexo.

En el anexo del proyecto se muestran todas las páginas de código que se han utilizado.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Segmento 1: Lógica botonera del cuadro eléctrico.

El cuadro eléctrico está formado por dos botones: el de arranque de la línea y el de parada de la línea.

Cuando se acciona el botón de arranque o “START” se inicia la emisión de materia prima, el funcionamiento de la cinta que envía materia prima a la célula robotizada y el ciclo de funcionamiento de la célula robotizada.

Cuando se acciona el botón de parada o “STOP” se para la emisión de materia prima, el funcionamiento de la cinta que envía materia prima a la célula robotizada y se para la célula robotizada independientemente de la etapa del ciclo en la que se encuentre.

A parte de los dos botones, en el cuadro se encuentran dos contadores que nos indican las piezas que hay dependiendo del color.



Ilustración 32. Cuadro eléctrico. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

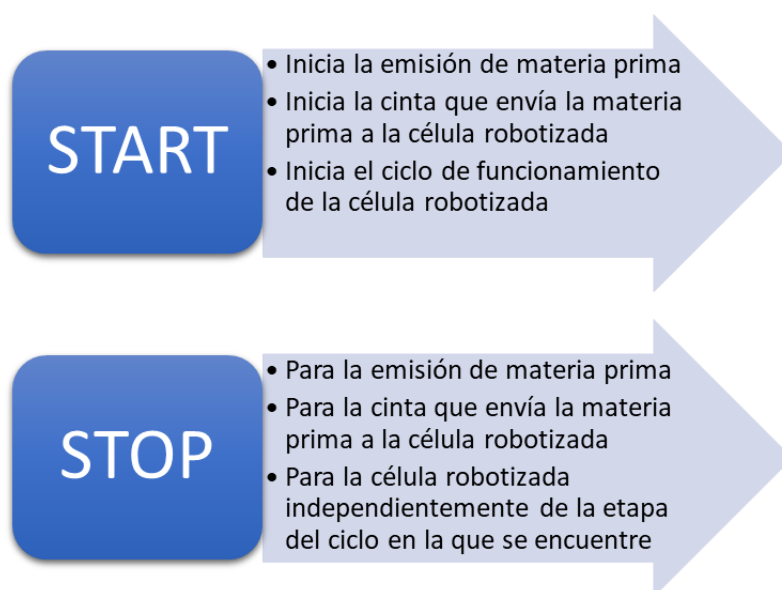


Ilustración 33. Diagrama de flujo cuadro eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

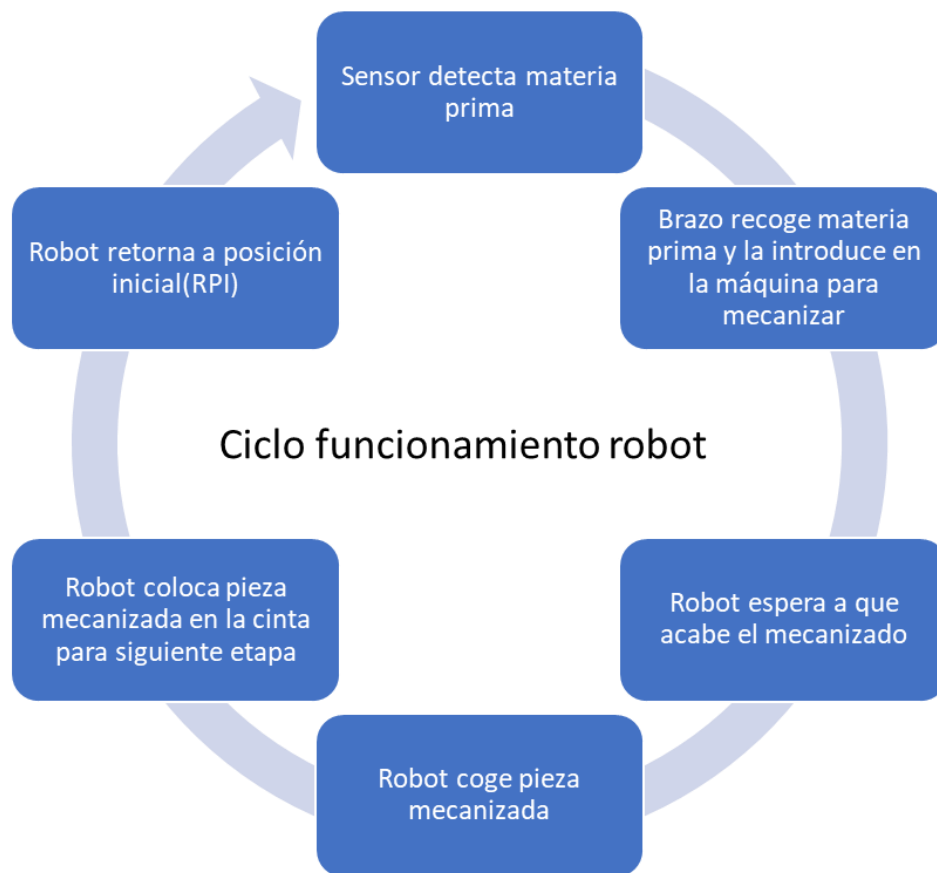


Ilustración 34. Diagrama de flujo célula robotizada. Fuente: Elaboración propia.

Segmento 2: Lógica clasificación por color.

Cuando se habló de esta parte del proceso en el apartado clasificación del producto se hizo referencia a que constaba de un sensor de color y dos brazos separadores para clasificar las piezas mecanizadas. Como se puede observar en la siguiente imagen cuando el sensor de color detecta que tipo de pieza es (3 = azul y 6 = verde) activa el giro del brazo para clasificar la pieza.

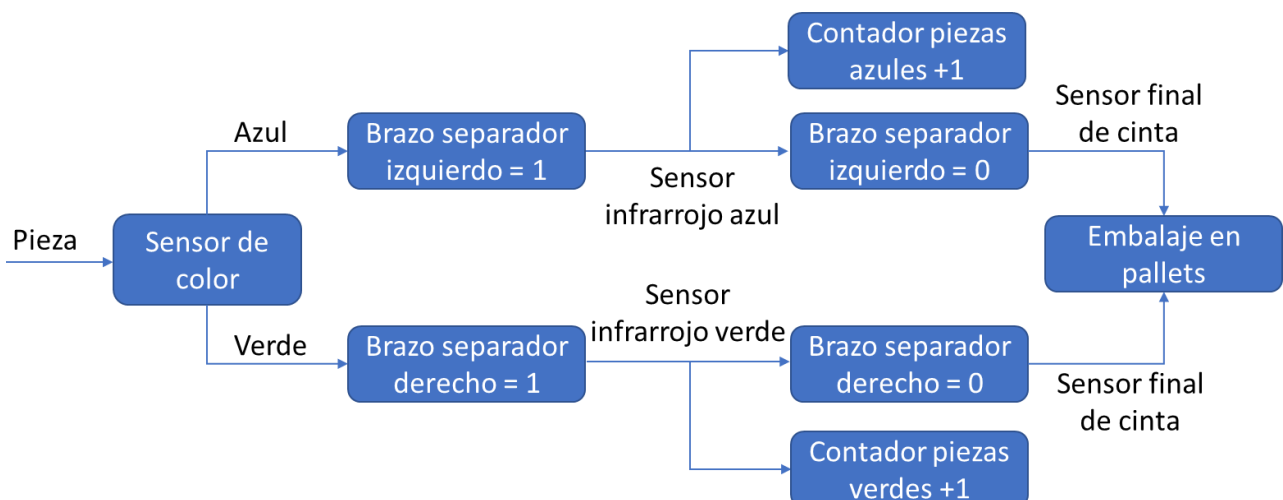


Ilustración 35. Diagrama de flujo clasificación por color. Fuente: Elaboración propia.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Cuando la pieza tipo 1 (azul) o pieza tipo 2 (verde) es ubicada en la cinta que le corresponde, el sensor infrarrojo al inicio de cada cinta la detecta y devuelve a los brazos separadores a su posición inicial, también afecta a los contadores de los que se ha hablado en el apartado anterior.

Por último, cuando la máquina de embalaje de piezas de 3 ejes esté trabajando las cintas de esta parte de la producción se pararán. Esto es para evitar que hubiese conflictos en caso de que el ciclo de la célula robotizada fuese más rápido y saliesen piezas mecanizadas con mayor frecuencia. Esto ocurre cuando los sensores infrarrojos del final de la cinta (“Right/LeftSensorPallet”) o el sensor de detección de pieza de la máquina están activos.

Segmento 3: Lógica embalaje en pallets.

Cuando una pieza tipo 1 o tipo 2 llega al final de la cinta, éstas son detectadas por un sensor infrarrojo que detiene la cinta. Después, la máquina de embalaje de piezas de 3 ejes se mueve hasta donde está la pieza, la coge y la mueve a la caja donde se va a almacenar, una vez allí la deposita en la caja y retorna a su posición inicial.

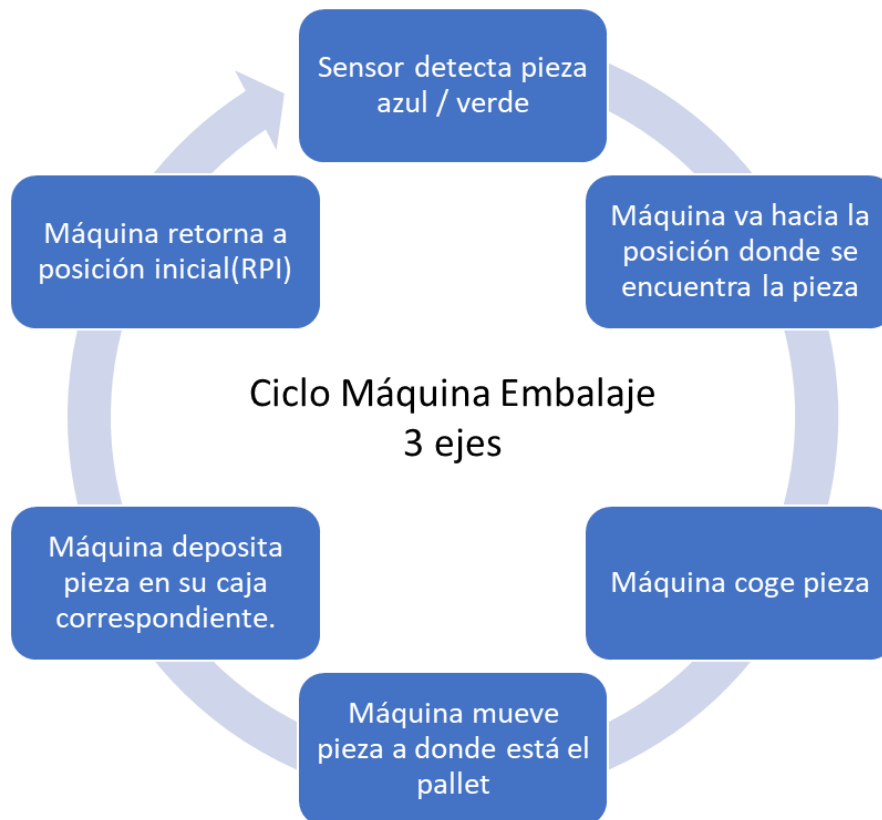


Ilustración 36. Diagrama de flujo embalaje de piezas. Fuente: Elaboración propia.

Segmento 4: Embalaje automático pallets vacíos y llenos

Cuando los contadores que se han mencionado previamente llegan a 5 piezas, se vuelven a iniciar a 0 en el momento en que la quinta pieza se deposita en su embalaje correspondiente. En este momento se sustituye el embalaje lleno por un embalaje vacío tal y como se explicó en su momento en la ilustración 10. En esta imagen también podemos observar que los embalajes acabados de las piezas azules pasan por medio de un sensor infrarrojo y una cinta de transferencia a la cinta de carga para ser almacenados en estanterías automáticamente.

Segmento 5: Estantería automática

Por último, una vez los embalajes acabados llegan a la grúa de almacenamiento automático y al sensor infrarrojo de la cinta de carga, la cinta se detiene y comienza el ciclo de funcionamiento de la grúa de almacenamiento automático. El mecanismo apilador se mueve hacia la izquierda para situarse debajo del pallet y lo coge. Una vez se dispone de la carga, el carro de 2 ejes se mueve a la ubicación correspondiente y deposita el embalaje. Finalmente, el carro vuelve a su posición inicial.



Ilustración 37. Diagrama de flujo grúa almacenamiento automático. Fuente: Elaboración propia.

Por defecto, el almacenamiento en estanterías sigue la lógica de un contador. Coloca el primer embalaje acabado en el hueco 1, el segundo en el hueco 2 y así hasta llenar completamente la estantería. Luego, con la pantalla HMI también podemos seleccionar en que ubicación enviar el embalaje siguiente y que continúe con la lógica de contador desde ahí.

Por último, en la siguiente imagen se muestra un diagrama de flujo de toda la instalación desde que se obtiene la materia prima hasta que el embalaje con el producto acabado se sitúa en el hueco de la estantería que le corresponde.

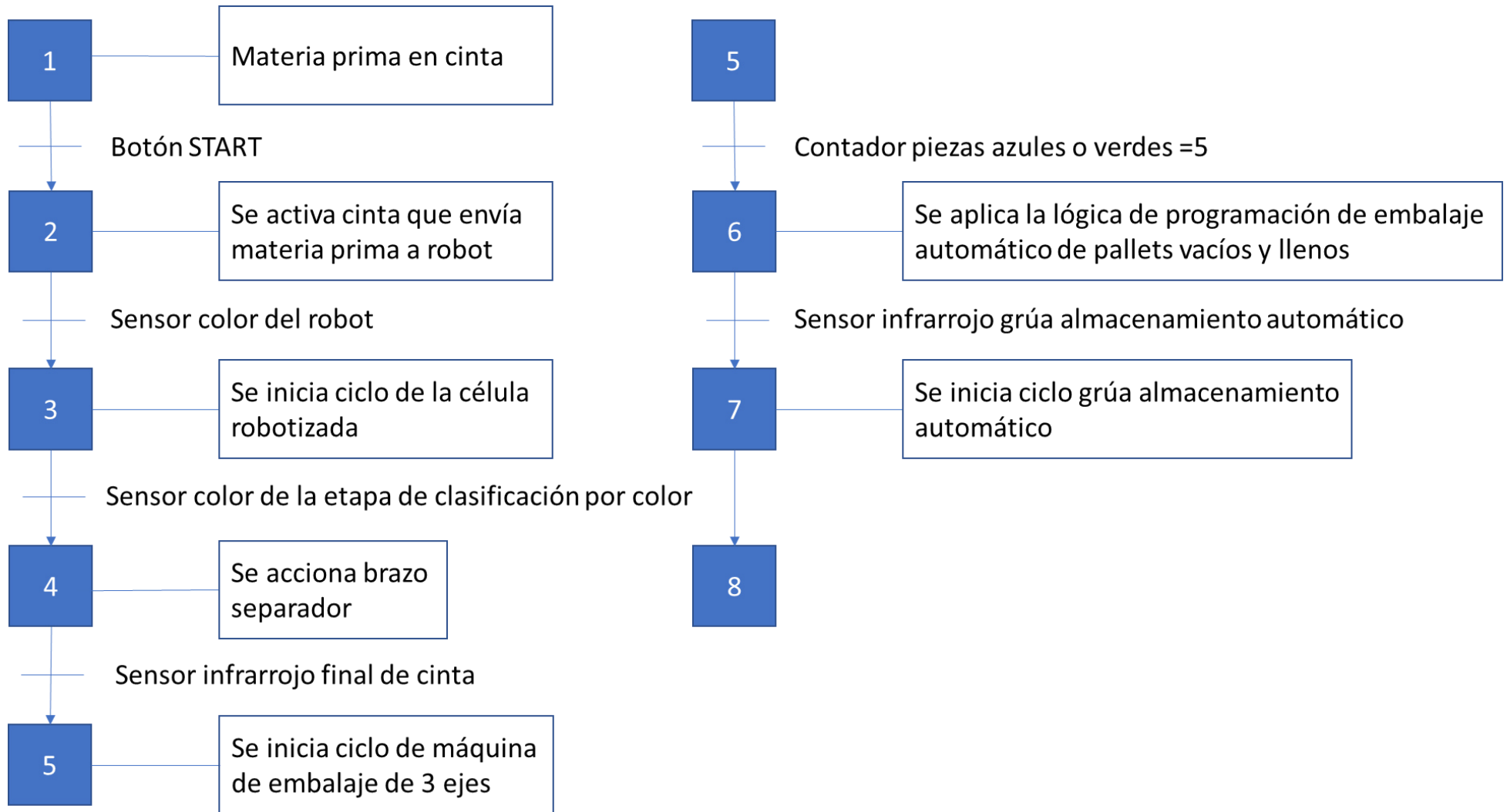


Ilustración 38. Esquema de programación general. Fuente: Elaboración propia.

5.2 Human Machine Interface (HMI)

Con el objetivo de poder ver lo que ocurre en la línea sin estar presente y realizar cambios simples en el programa a partir de una interfaz se ha programado una pantalla HMI. En ella se puede visualizar el estado de todos los elementos de la línea: cintas, robot, máquina de mecanizado, embalaje automático y grúa de almacenamiento.

La pantalla HMI pensada para este proyecto consta de:

- Panel de usuario
- Estado de la célula robotizada
- Estado zona de clasificación por color
- Estantería almacén automático

En la siguiente imagen podemos observar la pantalla HMI con todas sus partes integradas.

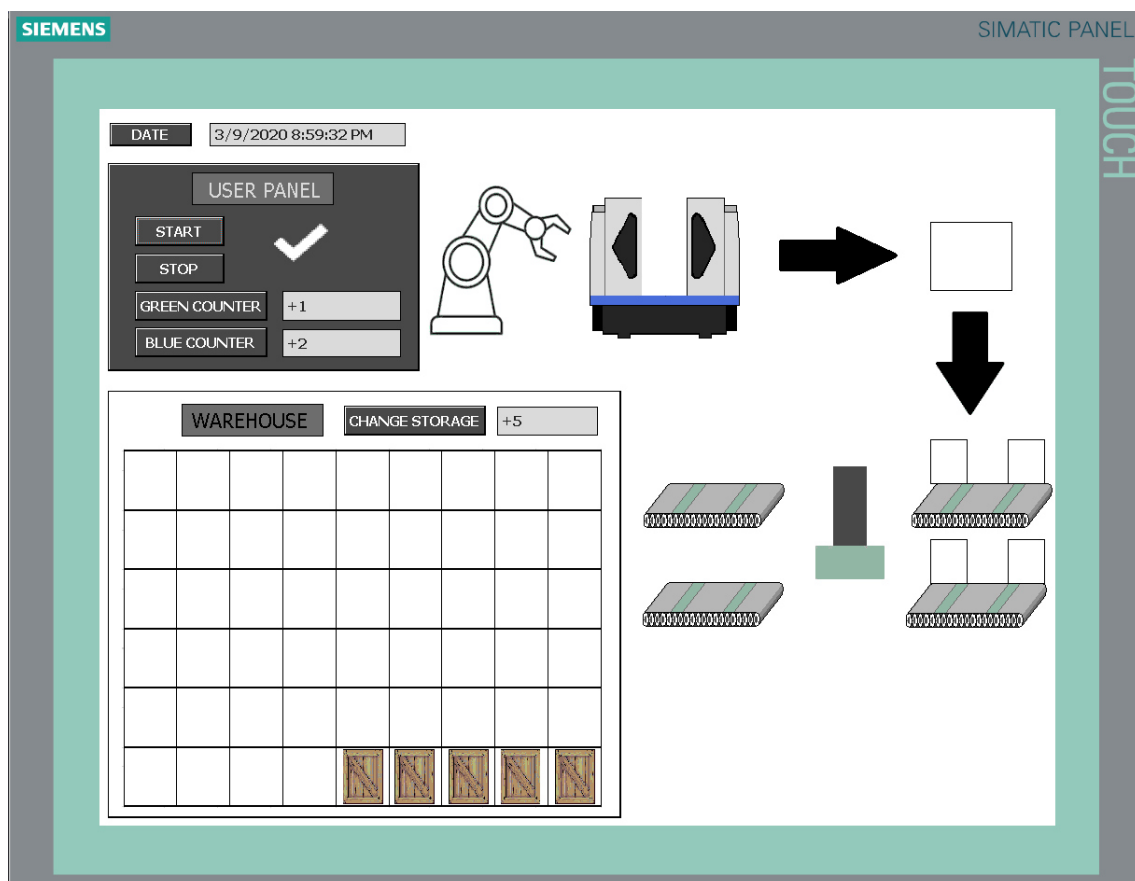


Ilustración 39. Pantalla HMI. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

5.2.1 Panel de usuario

El panel de usuario es una forma de acceder a la botonera del cuadro eléctrico sin tener que estar en planta. Está formada por los mismos componentes: Botón START y STOP y contadores de piezas azules y verdes.

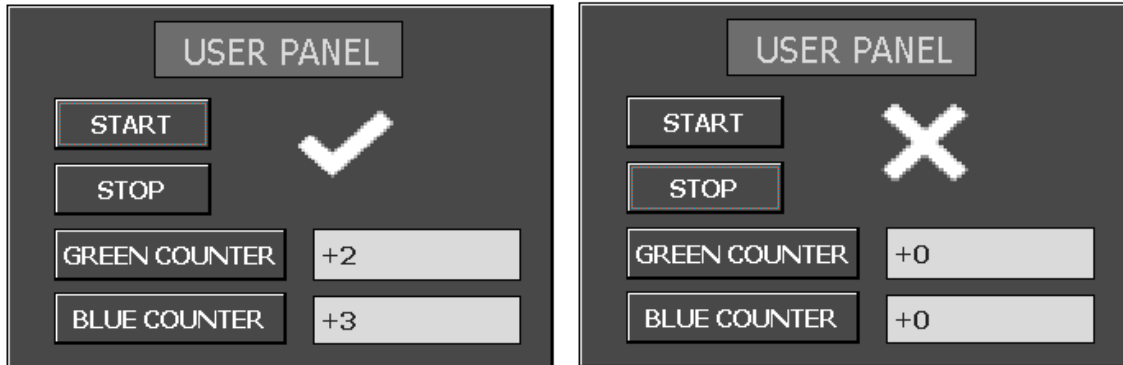


Ilustración 40. Panel de usuario tras pulsar START (izquierda) y STOP (derecha). Fuente: Elaboración propia TIA Portal

Al pulsar el botón START o STOP se aplica la lógica explicada en el apartado Segmento 1 de Lógica de programación. Además, como se puede ver en las imágenes podemos saber cuál fue el último botón pulsado por el usuario dependiendo de la imagen que se muestre en el panel de usuario (tick blanco = START, cruz blanca = STOP). Al pulsar el botón STOP también se reinician los contadores de piezas a cero.

5.2.3 Estado de la célula robotizada

Por medio de esta sección del HMI podemos visualizar el estado de la máquina de mecanizado:

La máquina de mecanizado cuando esté abierta sin mecanizar ninguna pieza se visualizará de la siguiente forma en el HMI:

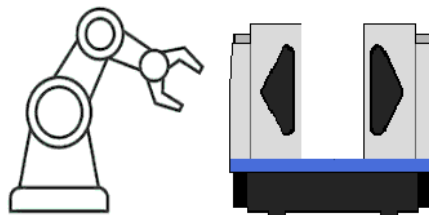


Ilustración 41. HMI máquina de mecanizado abierta. Fuente: Elaboración propia.

En cambio, cuando esté mecanizando una pieza se verá como en esta otra imagen.

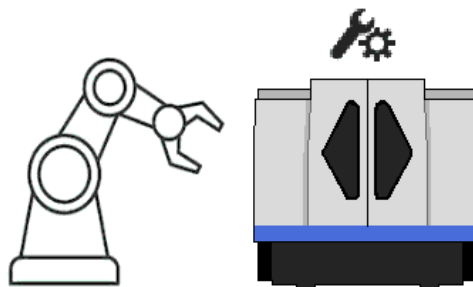


Ilustración 42. HMI máquina de mecanizado cerrada. Fuente: Elaboración propia.

El brazo robótico podremos saber si está siguiendo su ciclo de funcionamiento o no en función de si hay una cruz o un tick en el panel de usuario, pero no podremos saber en qué parte del ciclo está en cada momento.

5.2.4 Estado zona de clasificación por color

Gracias a los sensores de color e infrarrojos que están presentes en esta parte del proceso podemos saber dónde está la pieza en cada momento.



Ilustración 43. Sensor de color al salir de célula robotizada detecta pieza azul. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la ilustración 38 el sensor de color ha detectado una pieza azul la cual una vez llegue a la cinta que le corresponde se visualizará de la siguiente manera:

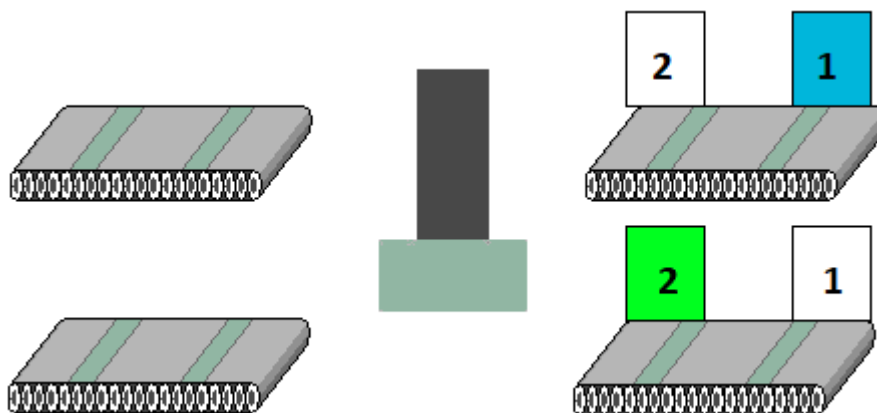


Ilustración 44. HMI cintas clasificación de producto. Fuente: Elaboración propia.

En esta imagen, aparte de haber una pieza azul al inicio de su cinta, también hay una pieza verde al final de la cinta lista para ser embalada. Cuando la máquina de embalaje de piezas de 3 ejes está actuando se le añade una caja a la imagen de la pantalla.

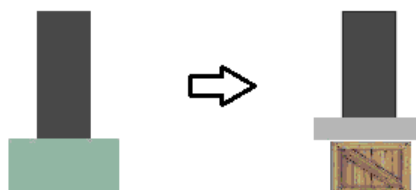


Ilustración 45. HMI máquina de embalaje funcionando. Fuente: Elaboración propia.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Por último, cuando se han introducido 5 piezas de un mismo tipo en una caja se procede al cambio de un embalaje lleno por uno vacío a la vez que el embalaje lleno se lleva a la grúa de almacenamiento. Cuando esto ocurra aparecerá una caja parpadeando en las cintas previas a la estantería de almacenamiento.

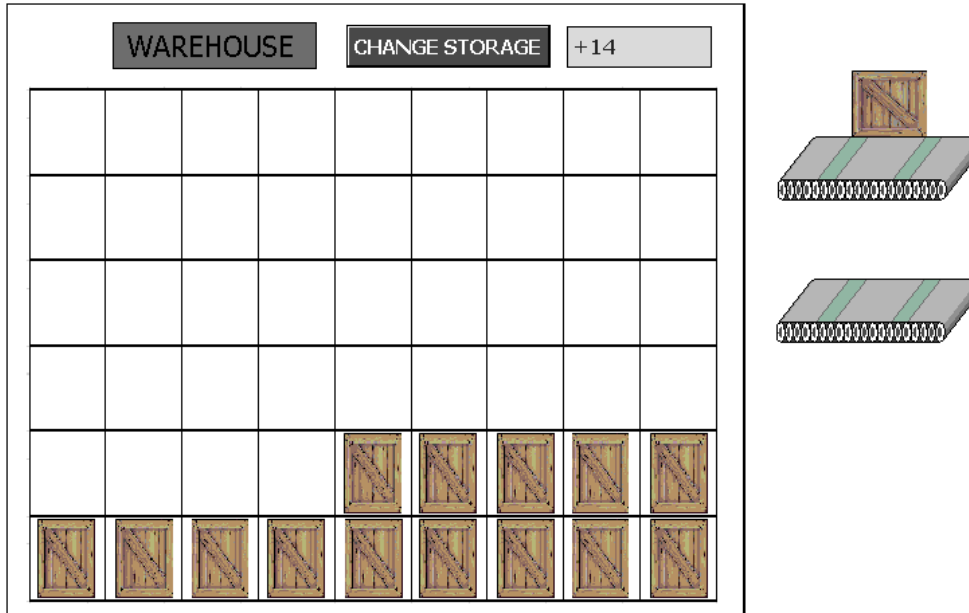


Ilustración 46. HMI cambio automático de pallet. Fuente: Elaboración propia.

5.2.5 Estantería almacén automático

En esta última parte de la pantalla podemos ver el número de cajas que llevamos embaladas fijándonos en el contador que aparece al lado de "Change storage" o contando el número de cajas que aparece en la imagen. También, se puede modificar este contador para decidir en que ubicación de la estantería mandar el pallet con el producto acabado.

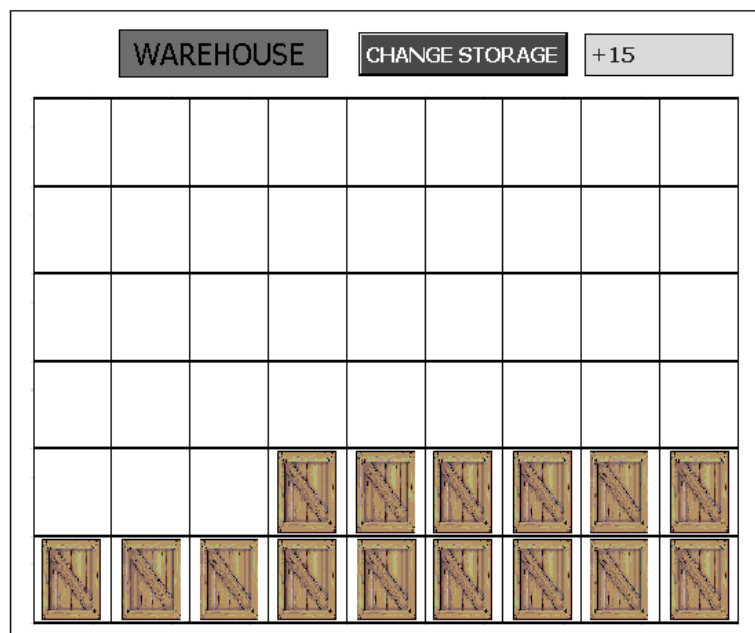


Ilustración 47. HMI Estantería automática. Fuente: Elaboración propia.

6. Pliego de condiciones

El presente pliego de condiciones tiene como objetivo establecer las condiciones o cláusulas generales y técnicas que se deben cumplir para el correcto desarrollo del proyecto. Se podrán tomar soluciones alternativas a las expuestas en el siguiente pliego siempre que estén justificadas y no pongan en compromiso la funcionalidad del proyecto.

Las partes en las que se divide el pliego son:

- Pliego de condiciones generales: Incluye una descripción general del proyecto y los marcos normativos y legales por los que se rige.
- Pliego de especificaciones técnicas: Se especifican los materiales, equipos necesarios y la orden de ejecución del proyecto.
- Pliego de cláusulas administrativas (PCA): Se muestran los criterios de valoración y de pago de las diferentes partes del proyecto.

6.1 Pliego de condiciones generales

El presente proyecto tiene por objeto la puesta en marcha de una línea industrial, con operaciones de mecanizado, clasificación, embalaje y almacenamiento de piezas completamente automatizada. En esta parte del pliego de condiciones se busca garantizar una correcta instalación, conservación y utilización de la línea para satisfacer su propia funcionalidad y la seguridad de los trabajadores. Las normativas que se muestran a continuación tendrán que ser tomadas en consideración cuando se proceda al montaje y puesta en marcha de la instalación.

- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (BOE 07/08/1997).
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- RD 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- RD 7/1988, de 8 de enero, relativo a las exigencias de seguridad del material eléctrico (y posteriores modificaciones por RD 154/95).
- RD y Normas UNE relativas al montaje, utilización y mantenimiento de autómatas.
- EN 62061:2005: Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos, y programables relativos a la seguridad.
- Norma IEC-1131 sobre la estandarización de los lenguajes de programación y sobre los diferentes tipos de autómatas programables y sus periféricos.

6.2 Pliego de especificaciones técnicas

Los materiales y maquinaria presentes en este proyecto están regulados y por ello son de fácil obtención.

En caso de utilizar productos de marcas y modelos distintos a los presentes en este documento, el director del proyecto no se hace responsable del correcto funcionamiento de la línea salvo que dicho cambio de producto esté debidamente justificado y sea aprobado por el director. Esto es debido a que cambios en el hardware y la maquinaria pueden llevar a cambios en la lógica de programación y en el software utilizado para la misma.

6.2.1 Hardware y maquinaria

PC

Para realizar la programación de la línea y garantizar la compatibilidad del ordenador personal utilizado con el autómatas y maquinaria utilizados es importante que las especificaciones técnicas sean las adecuadas.

Las características recomendadas para el PC son:

Hardware:

- Procesador Intel® Core™ i5-3320M 3,3 GHz o superior
- Memoria RAM 8 GB o más
- Disco duro 300 GB SSD

Software:

- Windows 7 o superior
- TIA Portal v15

PLC

El PLC escogido es el S7-1500 CPU 1512C-1 PN, el cual presenta:

- Un potente procesador: La CPU alcanza tiempos de ejecución de comandos tan bajos como 60 ns por instrucción binaria.
- Una gran memoria de trabajo: 250 KB para programa, 1 MB para datos.
- Entradas / salidas integradas: 32 entradas digitales y 32 salidas digitales, así como 5 entradas analógicas y 2 salidas analógicas para señales de corriente / voltaje y una entrada adicional para medir la temperatura en la CPU.
- SIMATIC Memory Cards como memoria de carga: permitir funciones adicionales como el registro de datos y archivos.
- Interfaz PROFINET IO IRT: Para conectar E / S distribuidas a través de PROFINET.

Modulo analógico de salida SM532

Las especificaciones básicas del módulo de salida analógico que se conecta al PLC son:

Modulo analógico de salida SM532

<i>Número de salidas analógicas</i>	8
<i>Protección contra cortocircuitos</i>	Si
<i>Corriente máxima de cortocircuito</i>	45 mA
<i>Voltaje máximo sin carga</i>	22 V

Tabla 2. Modulo analógico de salida SM532

Sensor infrarrojo: SENSOR FOTOELÉCTRICO 50X50 5H OsiSense XU 14 m - 24/240 VCA/CC

Sensor infrarrojo

<i>Emisión</i>	<i>Infrarros reflexo</i>
<i>Distancia de detección nominal</i>	14 m reflexo
<i>Distancia de detección máxima</i>	20 m reflexo
<i>Tipo de salida</i>	Relé
<i>Límites de tensión de alimentación</i>	20...264 V AC
<i>Frecuencia de conmutación</i>	<= 20 Hz
<i>Caída de tensión</i>	<= 1.5 V
<i>Consumo de corriente</i>	<= 35 mA
<i>Consumo de energía en W</i>	2 W AC/DC
<i>Primera temporización</i>	< 60 ms
<i>Respuesta del relé</i>	< 25 ms
<i>Recuperación de temporización</i>	< 25 ms

Tabla 3. Sensor infrarrojo

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Sensor de color ifm electronic O5C500- O5C-MAKG/US100

Sensor de color

<i>Tensión de trabajo mín.</i>	10 V
<i>Tensión de trabajo máx.</i>	36 V
<i>Tensión</i>	DC
<i>Rango de trabajo</i>	15 – 19 mm
<i>Corriente de salida máx.</i>	200 mA
<i>Frec. de conmutación</i>	2000 Hz
<i>Protección contra cortocircuitos</i>	Si
<i>Protección contra polaridad inversa</i>	Si

Tabla 4. Sensor de color

Cinta transportadora

- Ancho de la cinta transportadora de 24" (61 cm).
- 11' (3.35 mt) Longitud total.
- Marco de acero de 4" de profundidad x 12 ga de acero recubierto de pintura en polvo
- Motor: 1/2 HP 230 / 460V – 3 fases – 60 Hz totalmente cerrado refrigerado por ventilador, eficiencia de energía.
- Capacidad de carga: La carga máxima por pie lineal es de 75 libras (112 Kg/mt).
- Accionamiento final: situado en el extremo de descarga del transportador. El protector de la cadena está en el lado izquierdo cuando está parado en el extremo de la carga mirando hacia el final de la descarga.
- Velocidad de la correa: Velocidad Constante 65 FPM (Pies por Minuto) – (20 mt por min).

Cinta de rodillos

- Cintas de transmisión estilo O-ring que conectan cada rodillo en la zona al motor
- Ancho total de 24 pulgadas (desde el exterior del marco hasta el exterior del marco)
- 21 pulgadas entre marcos (es decir, el producto más ancho que se puede mover a lo largo del transportador)
- 10 pies de largo total
- Rodillos galvanizados de tubo de revestimiento flotante.

Listón de rodillos

- Longitud 2.400 mm
- Anchura 71 mm
- Diámetro de rodillos 45 mm
- Material de acero galvanizado
- Carga máxima 130 Kg

Brazo separador

Brazo separador APOLLO

<i>Tamaño mínimo producto (mm)</i>	50 * 50 * 2(mm)
<i>Tamaño máximo producto (mm)</i>	800 * 800 * 800(mm)
<i>Peso máximo producto (kg)</i>	40kg
<i>Máxima velocidad soportable</i>	120m/min
<i>Ángulo de brazo</i>	30°-90°
<i>Temperatura ambiente</i>	-10 to +50 °C
<i>Tasa de error</i>	≤0.01%

Tabla 5. Brazo separador

Cinta de transferencia

Cinta de transferencia

<i>Material:</i>	Acero de carbono
<i>Capacidad de carga:</i>	2000-8000kg
<i>Voltaje:</i>	A petición
<i>Máxima velocidad</i>	30m/min
<i>Power:</i>	0.5-2.2kw

Tabla 6. Cinta de transferencia

Máquina de mecanizado CNC

Centro mecanizado CNC F80SINUMERIK 808 D - OPTIMUM - 4030635020599

<i>Material guías</i>	Acero inoxidable
<i>Software</i>	SINUMERIK 808D
<i>Iluminación</i>	LED
<i>Máxima velocidad husillo</i>	8000 rpm
<i>Sistema de refrigeración</i>	Depósito 160 l

Tabla 7. Centro mecanizado CNC

Modelo KR 210 R2700 EXTRA

El alcance máximo	2696mm
La carga útil máxima	210 kg
Repetible (ISO 9283)	± 0,06mm
Número de ejes	6
Huella	830mm x 830mm
Peso	Aproximadamente 1068 kg
De protección	IP65
Controlador	KR C4 compacto
Rango de movimiento	
A1	± 185 °
A2	(-140 °/-5 °)
A3	(120 °-155 °)
A4	± 350 °
A5	± 125 °
A6	± 350 °

Tabla 8. Brazo y mano robóticos para robot industrial KUKA

Máquina de manipulación de piezas de 3 ejes

JINGBEI – 3 axis Robot

<i>Transporte vertical</i>	1000 mm
<i>Transporte horizontal</i>	1800 mm
<i>Consumo eléctrico</i>	1.05 KVA
<i>Máxima carga</i>	3 Kg
<i>Voltaje</i>	220 V

Tabla 9. Robot cartesiano de 3 ejes

Grúa de almacenamiento automático

Automatic Storage Warehouse system with Stacker Crane

<i>Altura máxima estantería</i>	40 m
<i>Carga máxima</i>	1500 Kg
<i>Velocidad máxima</i>	100 m / min
<i>Velocidad máxima levantamiento con carga</i>	20 m / min
<i>Control</i>	Manual, single auto y auto

Tabla 10. Grúa de almacenamiento automático

6.2.2 Orden de cumplimiento

Para realizar el proyecto se establece el siguiente orden de ejecución:

1. Adquisición y envío de los componentes del proyecto al lugar solicitado por el cliente.
2. Montaje mecánico de los componentes.
3. Comprobación del montaje correcto de todos los elementos y su interconexión.
4. Programación del PLC.
5. Calibración de sensores, actuadores y resto de elementos.
6. Comprobación de la correcta programación del PLC.

El responsable de la puesta en marcha del proyecto tendrá que disponer de los conocimientos electromecánicos y de programación necesarios para poder resolver cualquier problema o errores que puedan surgir.

A parte de las comprobaciones de funcionamiento general, se realizarán comprobaciones cada vez que se monte una etapa del proceso, por lo tanto, se harán comprobaciones profundas de:

- Etapa de mecanizado
- Etapa de clasificación del producto
- Etapa embalaje automático en pallets.
- Etapa embalaje automático en estantería.

6.3 Pliego de cláusulas administrativas (PCA)

La empresa o institución compradora de este proyecto se compromete con el presente pliego a realizar el pago de la totalidad del presupuesto en los siguientes plazos:

1. Un 40% de la totalidad del presupuesto al iniciarse la puesta en marcha.
2. Un 40% de la totalidad del presupuesto al finalizar la puesta en marcha.
3. El resto del presupuesto más posibles gastos adicionales transcurridos 2 meses de finalizar la puesta en marcha.

Por otro lado, la institución ofertante del proyecto se compromete con los siguientes plazos de cumplimiento:

Plazo orientativo de montaje de la puesta en marcha: 6 días.

Plazo de pruebas y finalización de trabajos: 1 día.

Plazo de garantía del proyecto una vez finalizada la puesta en marcha: 2 años.

7. Presupuesto

En esta sección se muestra la inversión necesaria para asumir el proyecto.

Para el cálculo de esta se ha hecho una división según el tipo de recursos utilizados.

- Recursos de hardware y maquinaria por unidad funcional: Hardware, actuadores y sensores necesarios para cada etapa en la realización del proyecto.
- Recursos de Software: Software utilizado para la programación del proyecto.
- Recursos Humanos: Mano de obra tanto para el diseño de la línea como para la puesta en marcha de esta.

7.1 Hardware y maquinaria

Esta parte del presupuesto ha sido dividida según las unidades funcionales del proyecto las cuáles corresponden a las etapas que se definieron el apartado de diseño de la línea. Los dos interruptores y pantallas LED del cuadro eléctrico se han incluido en la unidad funcional 3 aunque el cuadro eléctrico podría disponerse en cualquier otro lugar de la instalación.

1. Transporte de materia prima y producto acabado			
Recurso	Cantidad (Uds)	Precio / unidad (€/Ud)	Precio total (€)
Cinta transportadora	6	2.891,00 €	17.346,00 €
Cinta de rodillos	4	1.390,78 €	5.563,12 €
Cinta de transferencia	1	3.000,00 €	3.000,00 €
Listón de rodillos	2	165,00 €	330,00 €
Total			26.239,12 €

Tabla 11. Presupuesto Unidad Funcional 1

2. Zona de mecanizado			
Recurso	Cantidad (Uds)	Precio / unidad (€/Ud)	Precio total (€)
Sensor de color	1	348,72 €	348,72 €
Brazo robótico ABB	1	25.752,61 €	25.752,61 €
Máquina mecanizado CNC	1	46.358,90 €	46.358,90 €
Total			72.460,23 €

Tabla 12. Presupuesto Unidad Funcional 2

3. Zona segregación producto mecanizado			
Recurso	Cantidad (Uds)	Precio / unidad (€/Ud)	Precio total (€)
Interruptor industrial	2	30,49 €	60,98 €
Digital Display	2	24,14 €	48,28 €
Sensor infrarrojo	2	79,90 €	159,80 €
Sensor de color	1	348,72 €	348,72 €
Brazo separador	2	1.000,00 €	2.000,00 €
Total			2.617,78 €

Tabla 13. Presupuesto Unidad Funcional 3

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

4. Embalaje automático en pallets			
Recurso	Cantidad (Uds)	Precio / unidad (€/Ud)	Precio total (€)
Sensor infrarrojo	2	79,90 €	159,80 €
Máquina embalaje piezas 3 ejes	1	7.000,00 €	7.000,00 €
Total			7.159,80 €

Tabla 14. Presupuesto Unidad Funcional 4

5. Embalaje automático en estantería			
Recurso	Cantidad (Uds)	Precio / unidad (€/Ud)	Precio total (€)
Sensor infrarrojo	2	79,90 €	159,80 €
Grúa almacenamiento automático	1	100.000,00 €	100.000,00 €
Total			100.159,80 €

Tabla 15. Presupuesto Unidad Funcional 5

6. Hardware de programación			
Recurso	Cantidad (Uds)	Precio / unidad (€/Ud)	Precio total (€)
PLC S7-1500 CPU 1512C-1 PN	1	1.500,00 €	1.500,00 €
Módulo SM532	1	595,00 €	595,00 €
Total			2.095,00 €

Tabla 16. Presupuesto Unidad Funcional 6

Teniendo en cuenta las unidades funcionales mostradas, el presupuesto total del hardware y maquinaria necesarios es el siguiente.

Hardware y maquinaria por unidad funcional	
Unidad funcional	Precio (€)
Transporte materia prima y producto acabado	26.239,12 €
Zona de mecanizado	72.460,23 €
Zona segregación producto mecanizado	2.617,78 €
Embalaje automático en pallets	7.159,80 €
Embalaje automático en estantería	100.159,80 €
Hardware de programación	2.095,00 €
Total	210.731,73 €

Tabla 17. Presupuesto total hardware y maquinaria

7.2 Software

Los recursos de software que necesita el ingeniero diseñador y programador del proyecto son:

- Ordenador personal y periféricos
- SIWAREX WP231 PAQUETE DE CONFIGURACIÓN PARA TIA-PORTAL EN CD-ROM
- Licencia sistema operativo Windows 10 Home

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

El coste de amortización del ordenador y sus periféricos en el proyecto se ha estimado del 15% ya que para realizar este proyecto se ha requerido de 6 meses de uso de un ordenador de alto rendimiento y la vida útil de estos suele ser de 4 años. En cuanto al software utilizado se ha estimado una amortización del 50% pues ambas son necesarias, pero duran más tiempo que el necesario para acabar el proyecto por ello no se exige el 100% del coste de estas.

Recurso	Cantidad (Uds)	Amortización	Precio / unidad (€/Ud)	Precio total (€)
Ordenador personal y periféricos	1	0,15	1.200,00 €	180,00 €
SIWAREX WP231 TIA-PORTAL EN CD-ROM	1	0,5	185,00 €	92,50 €
Licencia Windows 10 Home	1	0,5	145,00 €	72,50 €
			Total	345,00 €

Tabla 18. Presupuesto total Software

7.3 Recursos Humanos

Los recursos humanos necesarios para este proyecto son las horas de trabajo realizadas por los ingenieros técnicos en el diseño de la línea de producción y las horas realizadas por los técnicos de montaje en la puesta en marcha de la instalación. Teniendo en cuenta el convenio del metal y los salarios medios habituales, el coste de un ingeniero técnico industrial es de 30 €/hora y el de un técnico de montaje de 20 €/hora.

En las siguientes tablas se muestra un desglose de las actividades necesarias a realizar por los ingenieros técnicos y los técnicos de montaje y el tiempo requerido por los mismos.

Recurso	Cantidad (h)	Precio / hora (€/h)	Precio total (€)
Diseño	80	30,00 €	2.400,00 €
Análisis	20	30,00 €	600,00 €
maquinaria	30	30,00 €	900,00 €
Programación	70	30,00 €	2.100,00 €
		Total	6.000,00 €

Tabla 19. Presupuesto Ingeniería

Recurso	Cantidad (h)	Precio / hora (€/h)	Precio total (€)
Montaje mecánico	90	20,00 €	1.800,00 €
Configuración	24	20,00 €	480,00 €
Comprobación	30	20,00 €	600,00 €
		Total	2.880,00 €

Tabla 20. Presupuesto Montaje

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Teniendo en cuenta el coste de todos los recursos humanos necesarios para el proyecto tenemos:

Recurso	Cantidad (h)	Precio / hora (€/h)	Precio total (€)
Ingeniero técnico	200	30,00 €	6.000,00 €
Técnico de montaje	144	20,00 €	2.880,00 €
Total			8.880,00 €

Tabla 21. Presupuesto total Recursos Humanos

Sumando cada una de las partes del presupuesto al final se estima la inversión de este proyecto en:

Presupuesto	Precio total (€)
Hardware y maquinaria	210.731,73 €
Software	345,00 €
Recursos humanos	8.880,00 €
Total	219.956,73 €

Tabla 22. Presupuesto total proyecto

Todos los costes considerados en este presupuesto tienen incluidos su IVA correspondiente.

8. CONCLUSIONES

Tras finalizar el proyecto se puede afirmar que aparte de haberse cumplido los objetivos definidos en el mismo, la elaboración de este documento ha sido de gran utilidad para adquirir nuevos conocimientos sobre las diferentes tecnologías industriales en el campo de automatización. Además, las diferentes etapas por las que está compuesto el proyecto (análisis, diseño, montaje y puesta en marcha) hacen una fiel representación de un proyecto real en este sector.

El software de programación utilizado tanto para el funcionamiento de la línea como para la pantalla HMI son ampliamente utilizados en la industria y son imprescindibles para cualquier ingeniero de automatización industrial. Mayoritariamente se ha utilizado la lógica de contactos debido a su sencillez de ejecución y supervisión. No obstante, como añadido a este proyecto se podría programar con GRAFCET un código complementario al ya existente para facilitar la localización de errores durante el uso de la instalación.

La inversión necesaria para el proyecto completo sería difícil de asumir para una pequeña empresa. Por ello, el presupuesto se ha dividido en unidades funcionales pues se podría prescindir de algunas funciones con motivo de abaratar el coste de la instalación y posteriormente poco a poco ir expandiéndola hasta lograr el proyecto final.

En cuanto al uso de un software de simulación en este proyecto se ha podido observar que, aparte de haber sido muy rentable para estimar los materiales y maquinaria necesarios, también ha sido de gran utilidad para explicar las diferentes etapas de producto dentro de la línea de producción.

A nivel personal, este proyecto me sirve de preparación para el mundo laboral al cual quiero destinar mi carrera profesional y como primer indicio de las dificultades y conocimientos con los que tendré que tratar en el futuro.

Por último, agradecer a mi tutor del trabajo fin de máster D. Ricardo Pizá Fernández por ofrecerme un trabajo tan completo en el que he podido desarrollarme como ingeniero y aconsejarme durante la realización del mismo. Asimismo, agradecer a mi familia el apoyo constante sin el cual no habría sido capaz de llegar a ser ingeniero superior industrial.

9. BIBLIOGRAFIA

- Apuntes de Tecnología Automática de Ingeniería Industrial.
- Ramón Piedrafita Moreno (2014) “Ingeniería de la automatización industrial”.
- Enrique Mandado Pérez, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernández Silva (2009) “Autómatas programables y sistemas de automatización”.
- Apuntes de curso online “Learn Siemens S7-1200 PLC & HMI from Scratch using TIA” realizado en Udemy.
- Reales decretos y normas UNE expuestas en el pliego de condiciones.
- Información acerca del software de programación TIA Portal. Disponible en: <https://www.plctutoriales.com/2017/06/tutorial-basico-programacion-en-tia.html>
- Información acerca de sistemas de control distribuido (DCS) disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/>
- Información acerca de protocolos de comunicación disponible en: <https://blog.logicbus.com.mx/blogs/post/protocolos-de-comunicacion-industriales>
- “Automatización industrial y robótica”. Disponible en: <http://www.aldakin.com/automatizacion-industrial-robotica-claves-exito/>

Tanto para las ilustraciones indicadas como para las tablas expuestas en el pliego de condiciones se han empleado los siguientes sitios web:

- Sitio web ‘Cobots’ de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/innovacion/cobots-robots-colaborativos>
- Sitio web ‘cnet.com’: <https://www.cnet.com/es/noticias/conoce-al-robot-kiva-el-hacendoso-empleado-de-amazon/>
- Sitio web ‘solostocks.com’: <https://www.solostocks.com/venta-productos/servicios-diseño-fabricación-herramientas-ferretería/proveedores-de-piezas-de-maquina-cnc-piezas-mecanizadas-pequenas-30089374>

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

- Sitio web 'eenergie-shop.es': https://www.eenergie-shop.es/control-industrial/sensores-fotoelectricos/fotocelulas-barrera/sensor-fotoelectronico-50x50-5h-osisense-xu-14-m-24240-vcacc?gclid=Cj0KCQiAqY3zBRDQARIsAJeCVxMu8n2S4YHoY5OA4WLgqmrE2NqzjPpYj48oLoFlgMhL-4BrUW2Q2AaAjWbEALw_wcB
- Sitio web 'automation24.es': https://www.automation24.es/sensor-de-color-ifm-electronic-o5c500-o5c-makg-us100?previewPriceListId=1&gclid=Cj0KCQiAqY3zBRDQARIsAJeCVxOTgRrsJD-PFkM9TtUCdUQnVhJfJf0NnKaVr6FiYtYK6WywjL9LGPgaAnggEALw_wcB
- Sitio web 'kaiserkraft.es': <https://www.kaiserkraft.es/tecnicade-transporte/listones-de-rodillos/liston-de-rodillos-para-cargas-pesadas-con-rodillos-cilindricos-de-acero/p/M1478/>
- Sitio web 'multi-conveyor.com': <https://www.multi-conveyor.com/conveyors/pop-up-transfers>
- Sitio web 'spanish.alibaba.com': <https://spanish.alibaba.com/product-detail/one-kr-210-r2700-extra-automatic-robot-and-robotic-hand-for-kuka-industrial-robot-62333172542.html>
- Sitio web 'neoferr.com': https://neoferr.com/suministro-industrial/130701-centro-mecanizado-cnc-f80sinumerik-808-d-optimum-4030635020599.html?gclid=CjwKCAjwgbLzBRBsEiwAXVlygBjsF5ttVkZ4OAoVOIMkZbVuCJaThel1r2MrWHqOHXUoc9OjrGMIZBoCRs0QAvD_BwE
- Sitio web 'jungheinrich.cn': <https://www.jungheinrich.cn/en/systems/automated-storage-and-retrieval-systems/automatic-small-parts-storage-1-/stacker-cranes-for-miniload-warehouses>
- Sitio web 'es.aliexpress.com': <https://es.aliexpress.com/item/33004966705.html>

ANEXO: Programa simulación 3D industrial Factory I/O

Factory I/O es un simulador 3D ideal para aprender a programar PLCs de manera económica y sin riesgo de dañar equipos. Es compatible con las principales marcas de PLC del sector e incluso con simuladores de PLC lo que permite aprender sin costes de hardware.

Gracias a este software se pueden crear escenarios industriales de simulación en tiempo real y controlarlos por medio de los autómatas más utilizados actualmente en el sector de automatización industrial

Tiene una amplia librería de partes industriales, materia prima, pallets, tanques de agua, paletizadoras, ascensores, células robotizadas, etc.

En este proyecto se han utilizado cuatro tipos de librerías en el diseño: materia prima, sensores, actuadores simples y actuadores de manipulación.

A parte de servir como método para visualizar gráficamente el proyecto realizado, mediante este simulador se ha podido estimar de manera más cercana a la realidad el número de entradas y salidas, los materiales y máquinas necesarios para el proyecto.

Para generar el producto se han utilizado los bloques de materia prima azul y materia prima verde.



Ilustración 48. Simulación 3D de materia prima. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Para el transporte de esta materia prima hasta la zona de mecanizado se ha utilizado la cinta transportadora que dispone Factory I/O.



Ilustración 49. Simulación 3D de cinta transportadora. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Como se explicó en el diseño de la línea, a través de esta cinta la materia prima entra en la célula robotizada donde es detectado por el sensor de color para iniciar el ciclo de mecanizado.



Ilustración 50. Simulación 3D de célula robotizada. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Al salir de la zona de mecanizado, Factory I/O saca las piezas de la máquina de CNC de la siguiente forma:



Ilustración 51. Simulación 3D de producto mecanizado. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Una vez pasada la etapa de mecanizado se llega a la zona de clasificación de producto, en esta etapa como se mencionó anteriormente entrar en juego un sensor de color, dos sensores infrarrojos y los brazos separadores para ubicar cada pieza donde le corresponde.

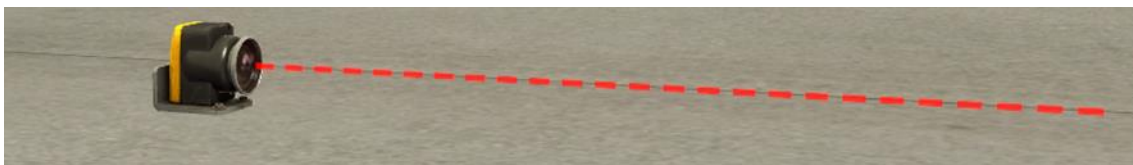


Ilustración 52. Simulación 3D de sensor de color. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

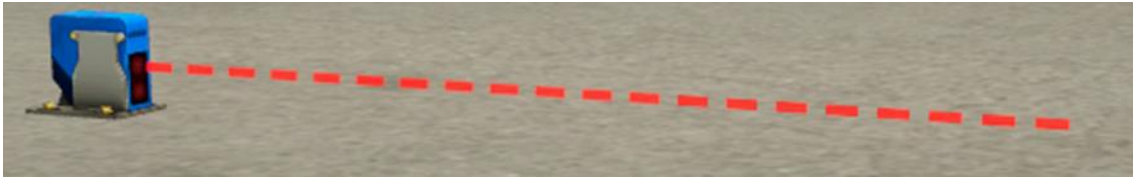


Ilustración 53. Simulación 3D de sensor infrarrojo. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.



Ilustración 54. Simulación 3D de brazo separador. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Cuando el producto ya está mecanizado y ubicado donde le corresponde se procede a su embalaje automático por medio de la máquina de embalaje automático de 3 ejes.

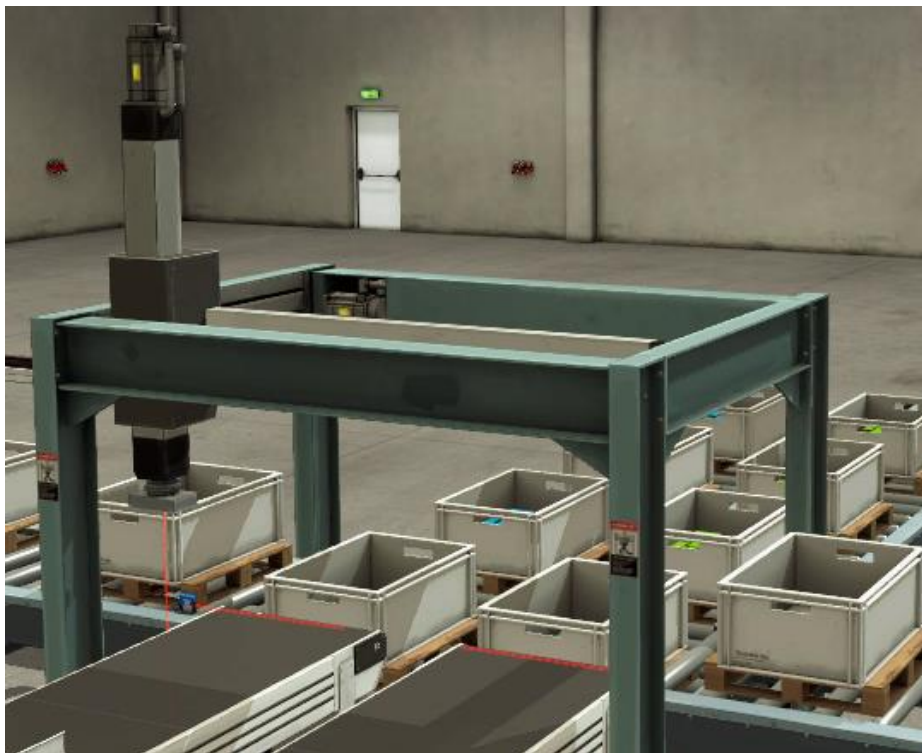


Ilustración 55. Máquina de embalaje automático de 3 ejes Factory I/O. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Para el transporte de los pallets con el producto almacenado se utilizan las cintas de rodillos que dispone Factory I/O:



Ilustración 56. Simulación 3D de cinta de rodillos. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Cuando el pallet con los productos mecanizados y embalados entra en la zona de almacenamiento automático en estantería, este se transporta a la grúa por medio de la acción conjunta de las cintas de rodillos, cinta de transferencia y los listones de rodillos.

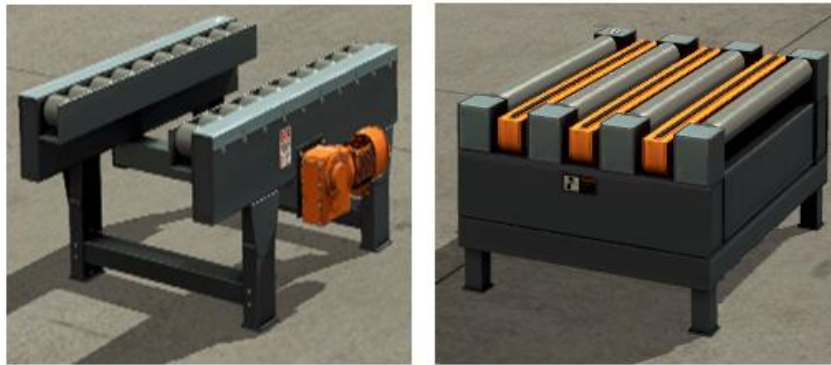


Ilustración 57. Simulación 3D de listones de rodillos y cinta de transferencia. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Finalmente, este pallet es recogido con el carro de la grúa y ubicado en la posición de la estantería escogida.

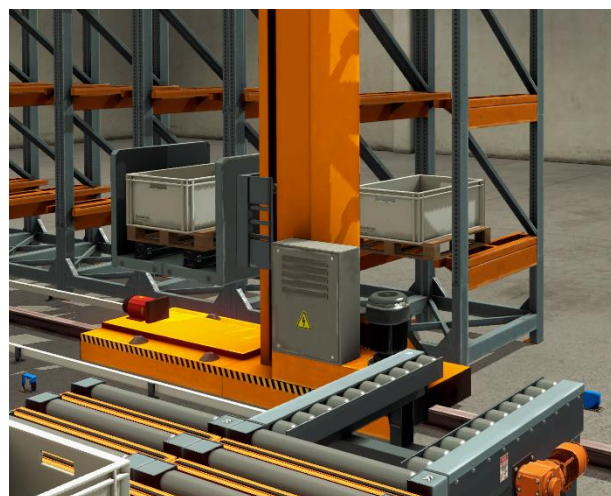


Ilustración 58. Simulación 3D de grúa de almacenamiento automático. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Conexión entre Factory I/O y PLC

Primero seleccionas la pestaña “Drivers” dentro de “File” arriba a la izquierda de la pantalla. Luego, seleccionas el PLC que deseas conectar con el escenario que hayas creado. Posteriormente, en la pestaña de “Configuration” indicamos el número de inputs y outputs que tiene nuestro PLC.

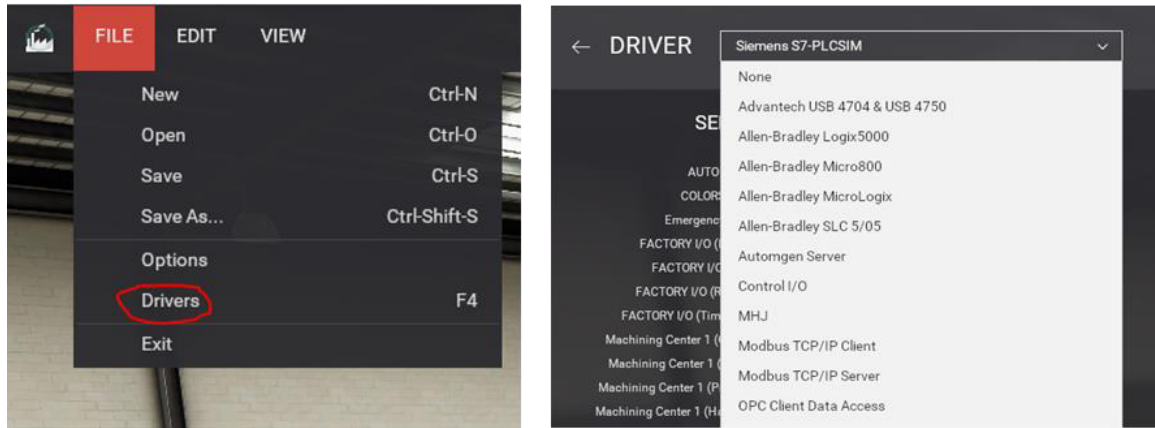


Ilustración 59. Configuración PLC con Factory I/O parte 1. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

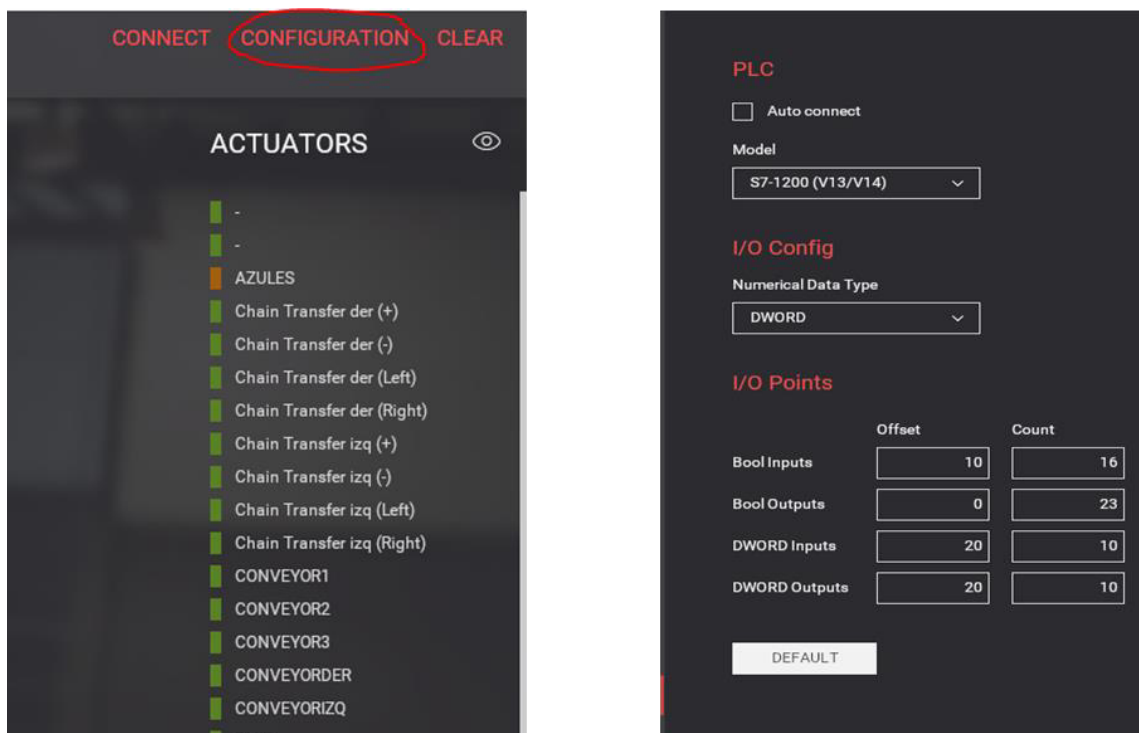


Ilustración 60. Configuración PLC con Factory I/O parte 2. Fuente: Elaboración propia Factory I/O.

Por último, se arrastran los inputs y outputs al controlador que aparece en la pantalla de “Drivers”.

ANEXO: Siemens TIA Portal

Siemens es una de las empresas líderes de automatización industrial especialmente en los sectores de automoción y alimentación, por lo que el manejo de la programación de sus autómatas es muy importante para cualquier ingeniero con interés en la automatización industrial.

Tras iniciar el programa y crear un proyecto podemos acceder al árbol del proyecto donde se encuentra el editor de dispositivos.

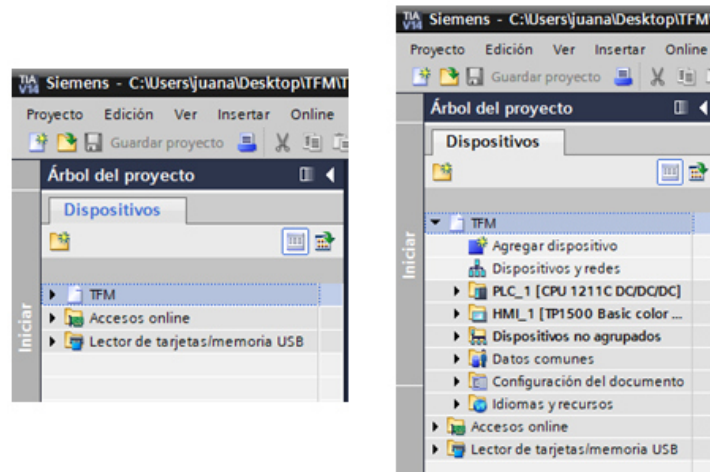


Ilustración 61. Árbol de proyecto Siemens TIA Portal. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

Si abrimos la pestaña del proyecto “TFM” se visualizarán en el editor los dispositivos agregados a este proyecto que en este caso son el PLC y la HMI para comunicarse y visualizar el proceso.

Dentro de ambos dispositivos se resaltan a continuación las secciones principales que se han utilizado en este proyecto.

- Dispositivos y redes: Para conectar la HMI con el PLC.
- Bloques de programa: Para la programación del PLC.
- Variables PLC o Variables HMI: Creación de variables para HMI / PLC.
- Imágenes: Programación de la HMI.
- Lista de textos o gráficos: Creación de gráficos dinámicos para la HMI.

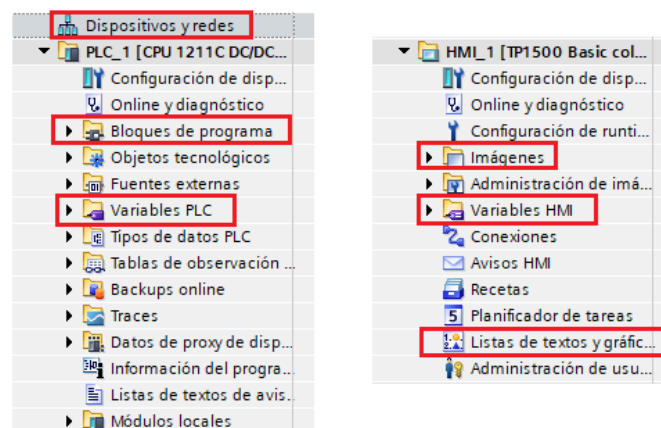


Ilustración 62. Secciones principales Siemens TIA Portal. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Programación Ladder Siemens TIA Portal

Segmentos

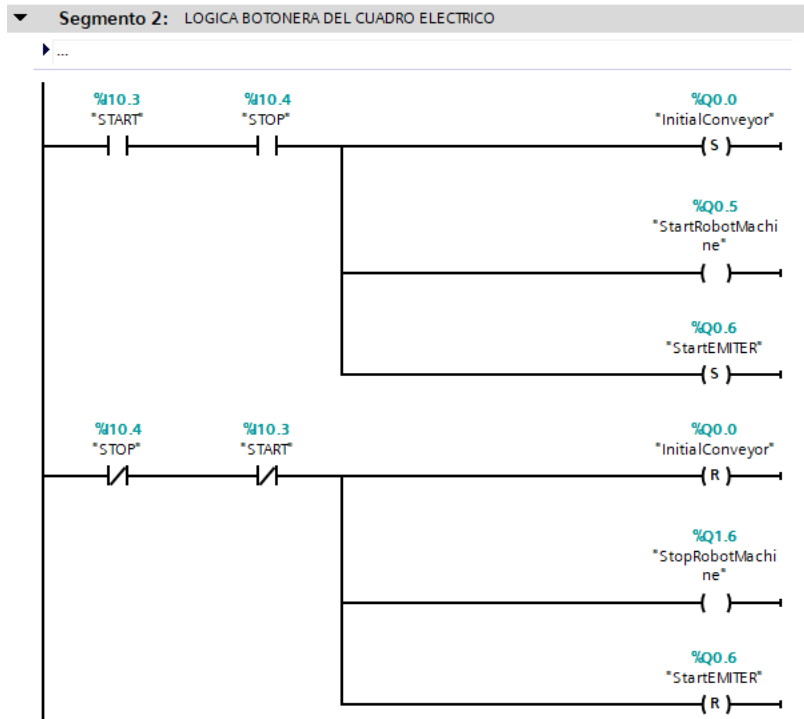


Ilustración 63. Segmento 2 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

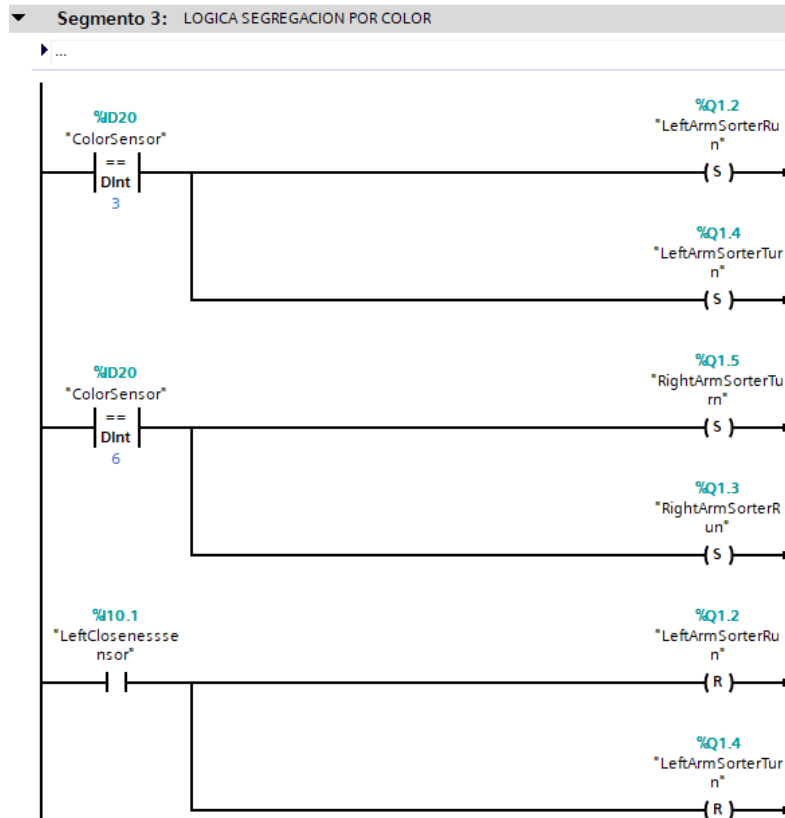


Ilustración 64. Segmento 3.1 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

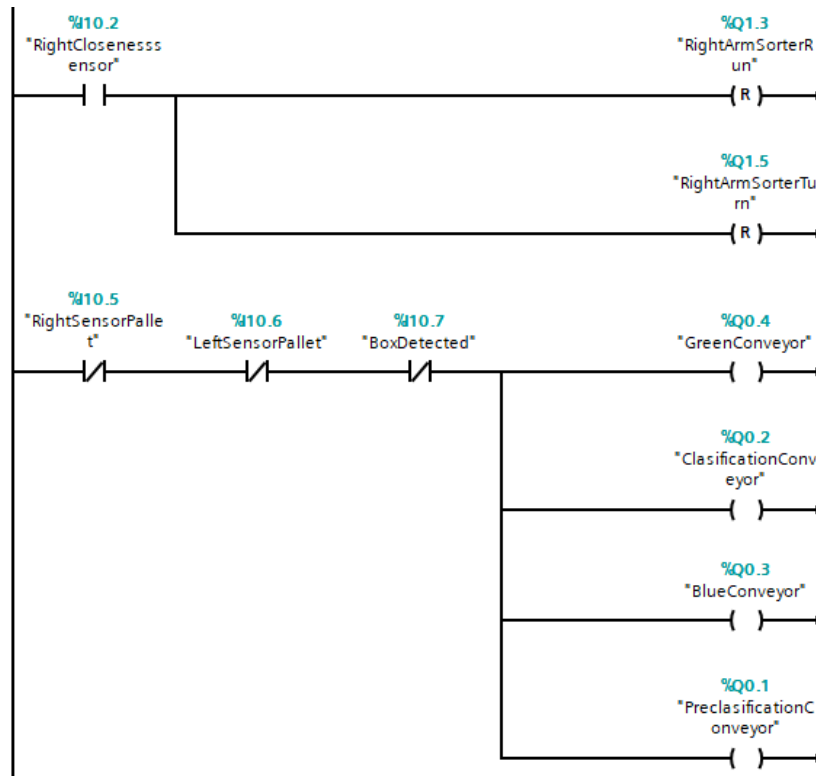


Ilustración 65. Segmento 3.2 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

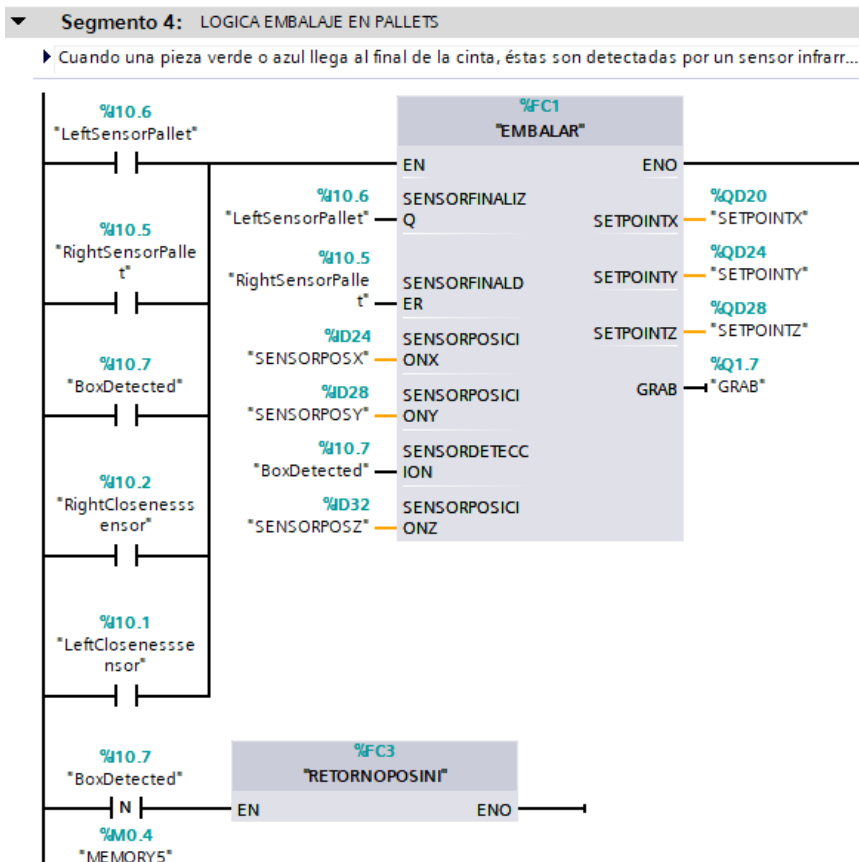


Ilustración 66. Segmento 4 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

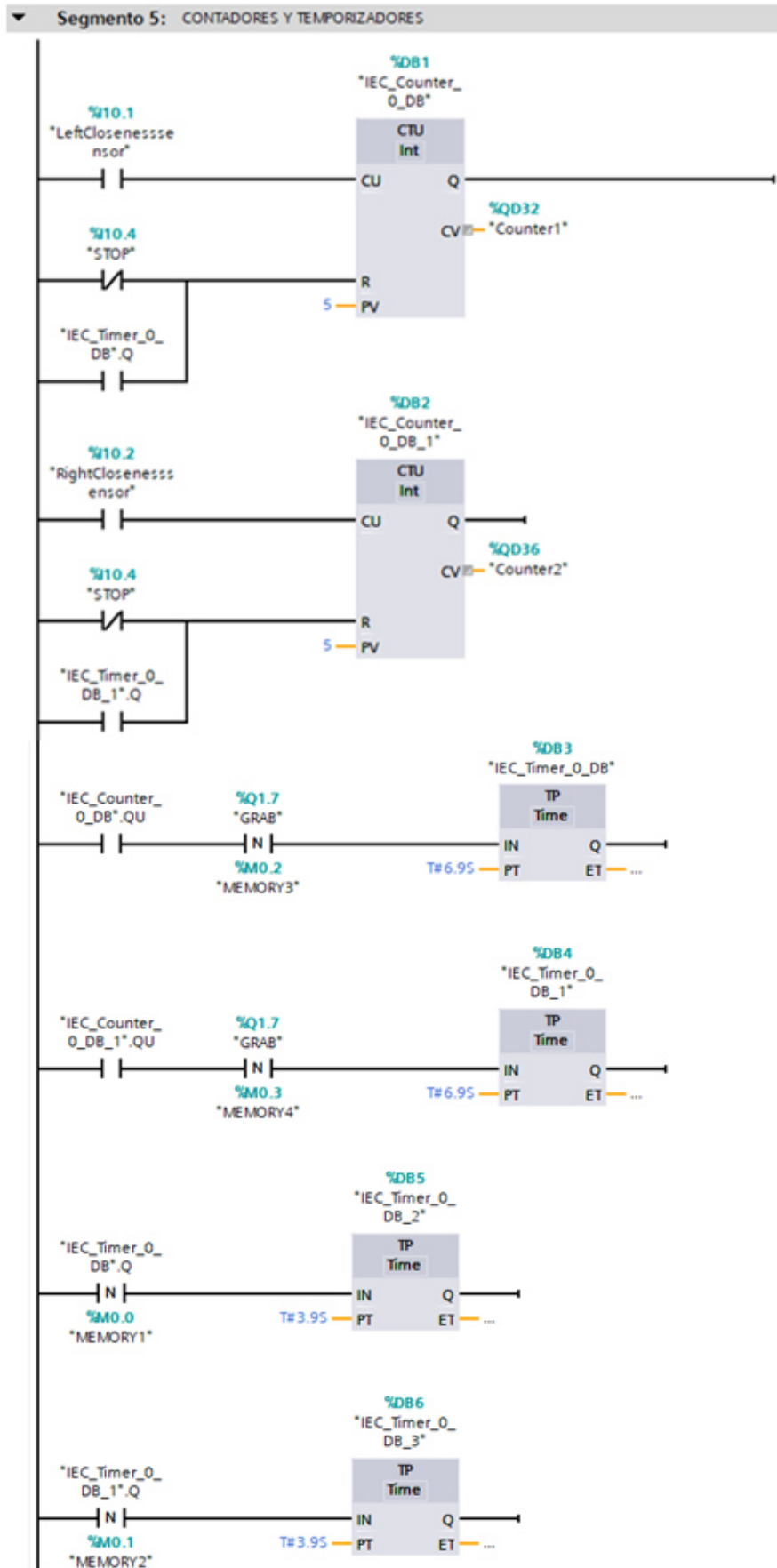


Ilustración 67. Segmento 5 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

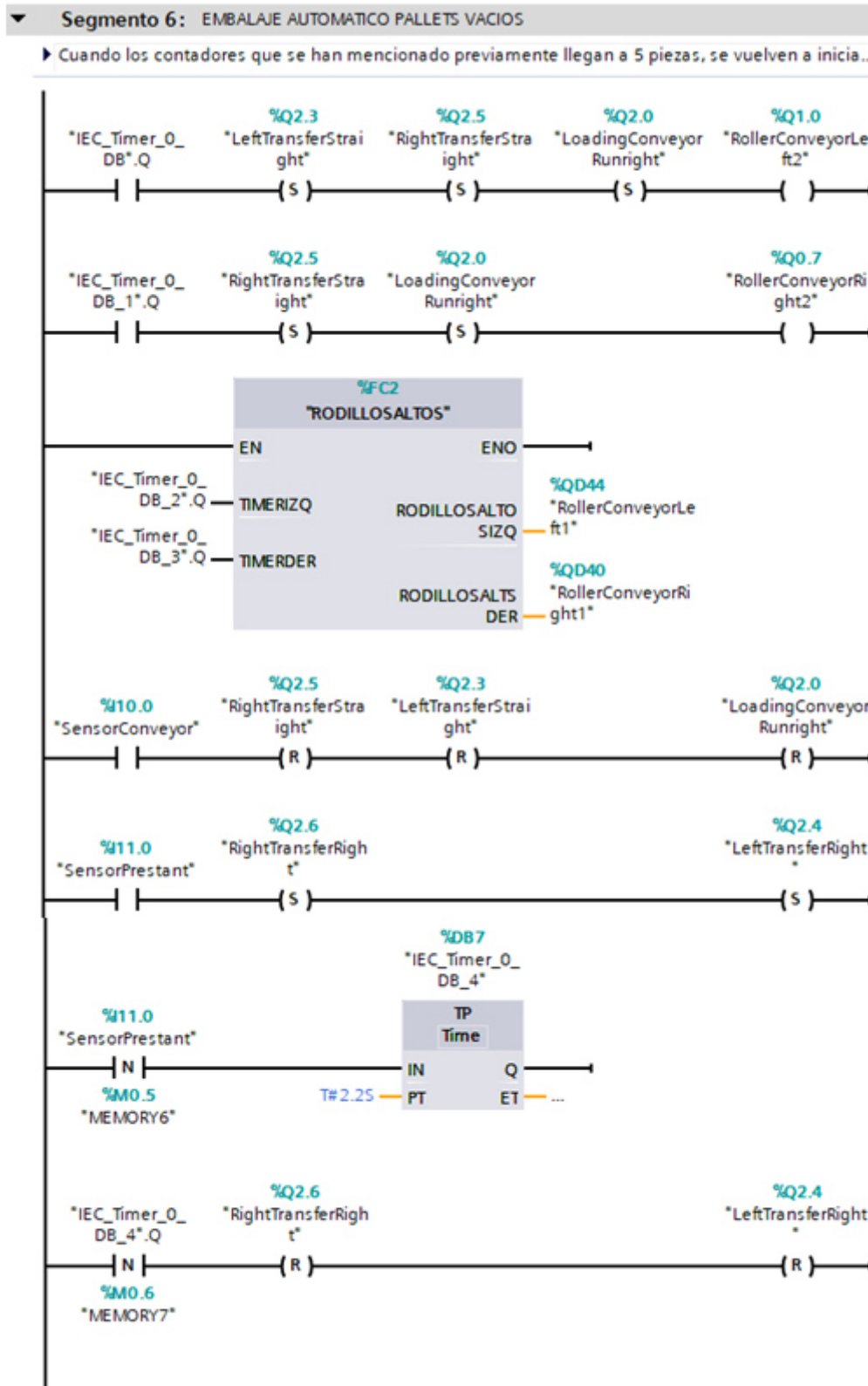


Ilustración 68. Segmento 6 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

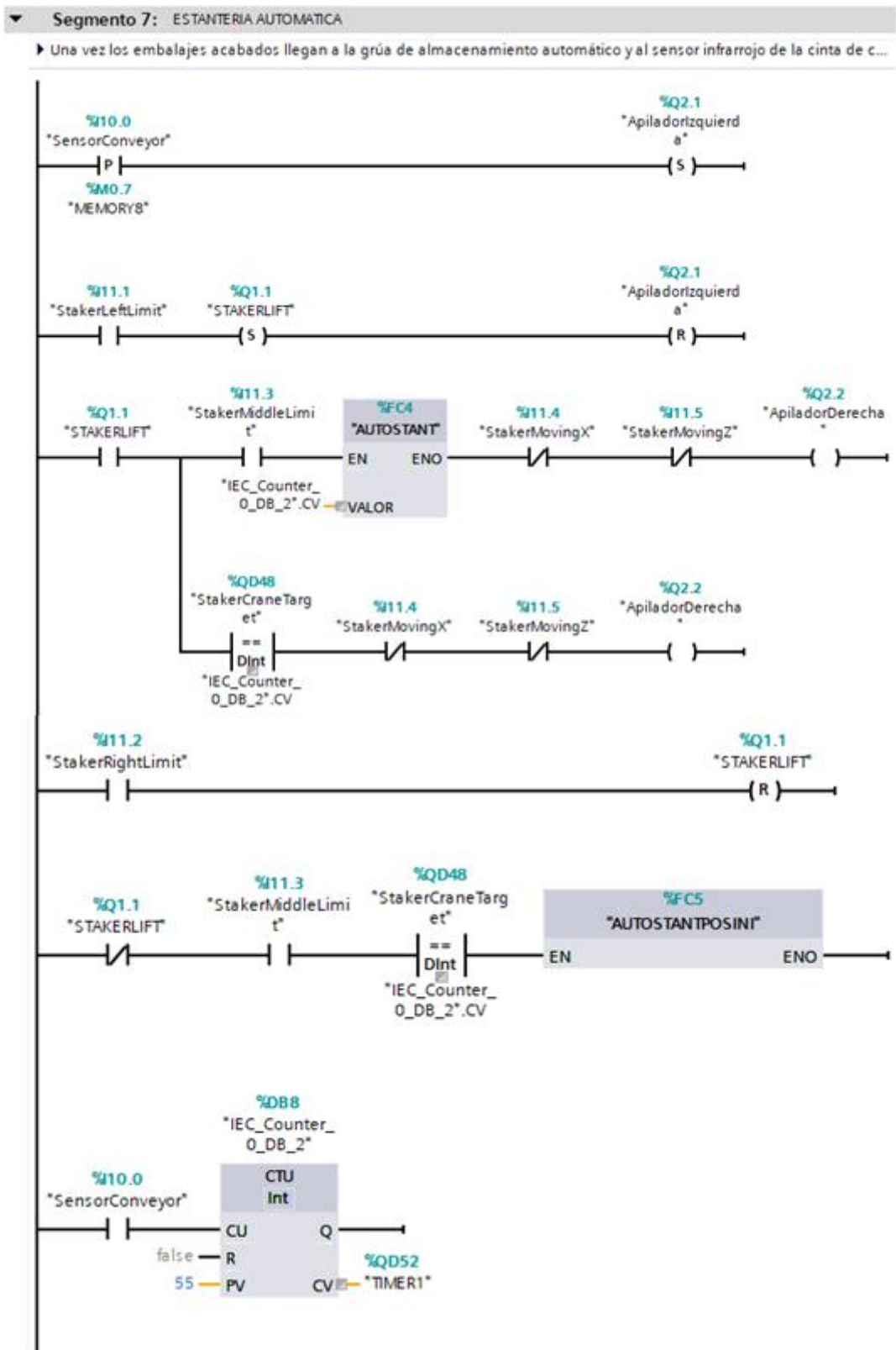


Ilustración 69. Segmento 7 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

Funciones

FC1: EMBALAR

```
1      #GRAB := 1;
2  IF #SENSORFINALIZQ = 1 THEN
3      #SETPOINTY := 0;
4      #SETPOINTX := 2.7;
5  IF #SENSORPOSICIONX > 2.6 THEN
6      #SETPOINTZ := 8.9;
7  IF #SENSORPOSICIONZ > 8.8 THEN
8      #GRAB := 1;
9      END_IF;
10     END_IF;
11 END_IF;
12 IF #SENSORFINALDER = 1 THEN
13     #SETPOINTY := 0;
14     #SETPOINTX := 8;
15 IF #SENSORPOSICIONX > 7.9 THEN
16     #SETPOINTZ := 8.9;
17 IF #SENSORPOSICIONZ > 8.8 THEN
18     #GRAB := 1;
19     END_IF;
20 END_IF;
21 END_IF;
22 IF #SENSORDETECCION = 1 THEN
23     #SETPOINTX := #SENSORPOSICIONX;
24     #SETPOINTZ := 8.9;
25     #GRAB := 1;
26     #SETPOINTY := 1.5;
27 IF #SETPOINTY > 1.4 THEN
28     #SETPOINTZ := 3;
29 IF #SENSORPOSICIONZ > 2.9 THEN
30     #SETPOINTY := 6.7;
31 IF #SENSORPOSICIONY > 6.6 THEN
32     #SETPOINTZ := 7;
33 IF #SENSORPOSICIONZ > 6.9 THEN
34     #GRAB := 0;
35     END_IF;
36     END_IF;
37     END_IF;
38 END IF;
39 END_IF;
```

Ilustración 70. Función 1 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

FC2: RODILLOSALTOS

```
1 IF #TIMERIZQ = 1 THEN
2     #RODILLOSALTOSIZQ := 10;
3 END_IF;
4 IF #TIMERDER = 1 THEN
5     #RODILLOSALTSDER := 10;
6 END_IF;
```

Ilustración 71. Función 2 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

FC3: RETORNOPOSINI

```
1  "SETPOINTX" := 0;  
2  "SETPOINTY" := 0;  
3  "SETPOINTZ" := 0;  
4  "GRAB" := 0;|
```

Ilustración 72. Función 3 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

FC4: AUTOSTANT

```
1  "StakerCraneTarget" := #VALOR;|
```

Ilustración 73. Función 4 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

FC5: AUTOSTANTPOSINI

```
1  "StakerCraneTarget" := 55;|
```

Ilustración 74. Función 5 de programación. Fuente: Elaboración propia TIA Portal.

ANEXO: Tablas de variables

Entradas / Inputs

Name	Data Type	Logical Address
<i>SensorConveyor</i>	Bool	%I10.0
<i>LeftClosenesssensor</i>	Bool	%I10.1
<i>RightClosenesssensor</i>	Bool	%I10.2
<i>START</i>	Bool	%I10.3
<i>STOP</i>	Bool	%I10.4
<i>RightSensorPallet</i>	Bool	%I10.5
<i>LeftSensorPallet</i>	Bool	%I10.6
<i>BoxDetected</i>	Bool	%I10.7
<i>SensorPrestant</i>	Bool	%I11.0
<i>StakerLeftLimit</i>	Bool	%I11.1
<i>StakerRightLimit</i>	Bool	%I11.2
<i>StakerMiddleLimit</i>	Bool	%I11.3
<i>StakerMovingX</i>	Bool	%I11.4
<i>StakerMovingZ</i>	Bool	%I11.5
<i>OpenedMachine</i>	Bool	%I11.6
<i>ColorSensor</i>	DInt	%ID20
<i>SENSORPOSX</i>	Real	%ID24
<i>SENSORPOSY</i>	Real	%ID28
<i>SENSORPOSZ</i>	Real	%ID32

Tabla 23. Entradas / Inputs

Variables de memoria

Name	Data Type	Logical Address
<i>MEMORY1</i>	Bool	%M0.0
<i>MEMORY2</i>	Bool	%M0.1
<i>MEMORY3</i>	Bool	%M0.2
<i>MEMORY4</i>	Bool	%M0.3
<i>MEMORY5</i>	Bool	%M0.4
<i>MEMORY6</i>	Bool	%M0.5
<i>MEMORY7</i>	Bool	%M0.6
<i>MEMORY8</i>	Bool	%M0.7
<i>MEMORY9</i>	Bool	%M1.0

Tabla 24. Variables de memoria

Salidas / Outputs

Name	Data Type	Logical Address
<i>InitialConveyor</i>	Bool	%Q0.0
<i>PreclasificationConveyor</i>	Bool	%Q0.1
<i>ClasificationConveyor</i>	Bool	%Q0.2
<i>BlueConveyor</i>	Bool	%Q0.3
<i>GreenConveyor</i>	Bool	%Q0.4
<i>StartRobotMachine</i>	Bool	%Q0.5
<i>StartEMITER</i>	Bool	%Q0.6
<i>RollerConveyorRight2</i>	Bool	%Q0.7
<i>RollerConveyorLeft2</i>	Bool	%Q1.0
<i>STAKERLIFT</i>	Bool	%Q1.1
<i>LeftArmSorterRun</i>	Bool	%Q1.2

TFM – MUII (UPV – ETSII) – Diseño y puesta en marcha de una línea automatizada de mecanizado, clasificación y embalaje de piezas.

<i>RightArmSorterRun</i>	Bool	%Q1.3
<i>LeftArmSorterTurn</i>	Bool	%Q1.4
<i>RightArmSorterTurn</i>	Bool	%Q1.5
<i>StopRobotMachine</i>	Bool	%Q1.6
<i>GRAB</i>	Bool	%Q1.7
<i>LoadingConveyorRunright</i>	Bool	%Q2.0
<i>ApiladorIzquierda</i>	Bool	%Q2.1
<i>ApiladorDerecha</i>	Bool	%Q2.2
<i>LeftTransferStraight</i>	Bool	%Q2.3
<i>LeftTransferRight</i>	Bool	%Q2.4
<i>RightTransferStraight</i>	Bool	%Q2.5
<i>RightTransferRight</i>	Bool	%Q2.6
<i>SETPOINTX</i>	Real	%QD20
<i>SETPOINTY</i>	Real	%QD24
<i>SETPOINTZ</i>	Real	%QD28
<i>Counter1</i>	DInt	%QD32
<i>Counter2</i>	DInt	%QD36
<i>RollerConveyorRight1</i>	Real	%QD40
<i>RollerConveyorLeft1</i>	Real	%QD44
<i>StakerCraneTarget</i>	DInt	%QD48
<i>TIMER1</i>	DInt	%QD52
<i>TIMER2</i>	DInt	%QD56

Tabla 25. Salidas / Outputs