



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Automatización y Simulación de una Línea de Mecanizado,
Ensamblaje y Clasificación de Recipientes con Tapa
utilizando Factory IO, PLC Siemens y SCADA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Eléctrica

AUTOR/A: Amezcua Fernández, Óscar Manuel

Tutor/a: Solanes Galbis, Juan Ernesto

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es diseñar y simular la automatización de una línea de mecanizado, ensamblaje y clasificación de recipientes con tapa en dos materiales diferentes. La estación de trabajo comprende una línea de producción dividida en dos sublíneas, encargadas de clasificar la materia prima según el material del recipiente y la tapa a producir. Estas sublíneas se subdividen luego en sublíneas de tapa y base, para ser mecanizadas en tornos CNC. Una vez fabricadas, las piezas avanzan hacia la estación de ensamblaje, donde se realiza el montaje de ambas partes. Por último, los productos ensamblados se almacenan en sus respectivos pallets.

Para llevar a cabo esta propuesta, se utilizarán los programas Factory IO para la simulación del proceso y el PLC SIEMENS S7-1200 para la implementación del control. Además, se desarrollará una interfaz de usuario con SCADA, que permitirá la interacción y monitorización de la planta. Esta interfaz se creará utilizando la HMI Siemens KTP700 Basic.

Palabras clave: Ensamblaje automatizado, Factory IO, TIA Portal, SCADA, HMI

Resum

L'objectiu principal d'aquest Treball de Fi de Grau (TFG) és dissenyar i simular l'automatització d'una línia de mecanització, assemblatge i classificació de recipients amb tapa en dos materials diferents. L'estació de treball comprèn una línia de producció dividida en dues sublínies, encarregades de classificar la primera matèria segons el material del recipient i la tapa a produir. Aquestes sublínies se subdivideixen després en sublínies de tapa i base, per ser mecanitzades en torns CNC. Un cop fabricades, les peces avancen cap a l'estació d'acoblament, on es fa el muntatge d'ambdues parts. Finalment, els productes acoblats s'emmagatzemen als seus palets.

Per dur a terme aquesta proposta, es faran servir els programes Factory IO per a la simulació del procés i el PLC SIEMENS S7-1200 per a la implementació del control. A més, es desenvoluparà una interfície d'usuari amb SCADA, que permetrà la interacció i el monitoratge de la planta. Aquesta interfície es crearà utilitzant la HMI Siemens KTP700 Basic.

Paraules clau: Assemblatge automatitzat, Factory IO, TIA Portal, SCADA, HMI

Abstract

The main objective of this Thesis is to design and simulate the automation of a machining, assembly and sorting line for containers with lids made of two different materials. The working station includes a production line divided into two sub-lines, in charge of classifying the first material according to the material of the container and the lid to be produced. These sub-lines are then subdivided into lid and base sub-lines, to be machined on CNC lathes. Once they have been manufactured, the pieces move on to the coiling station, where the assembly of both parts is carried out. Finally, the coiled products are packed on their pallets.

To carry out this proposal, the Factory IO programs will be used to simulate the process and the SIEMENS S7-1200 PLC will be used to implement the control. In addition, a user interface with SCADA will be developed, which will allow the interaction and monitoring of the plant. This interface will be created using the Siemens KTP700 Basic HMI.

Keywords: Automated assembly, Factory IO, TIA Portal, SCADA, HMI

ÍNDIX

RESUMEN	1
RESUM	2
ABSTRACT	3
LISTADO DE FIGURAS	5
1 INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ESTRUCTURA	9
1.1 INTRODUCCIÓN	9
1.2 OBJETIVOS.....	9
1.3 ESTRUCTURA.....	10
2 ANTECEDENTES	11
2.1 <i>EL ENSAMBLAJE</i>	11
2.2 <i>ROBÓTICA EN EL ENSAMBLAJE</i>	12
2.3 <i>EL MECANIZADO CNC</i>	15
2.4 <i>LOS MATERIALES CNC</i>	16
3 PROPUESTA	19
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	19
3.2 DISEÑO DE LA SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA EN FACTORY IO	21
3.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA CON TIA PORTAL.....	28
3.4 CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO	49
4 RESULTADOS	56
4.1 MODO DE FUNCIONAMIENTO NORMAL O START	56
4.2 MODO DE FUNCIONAMIENTO PARO O STOP.....	63
4.3 MODO DE FUNCIONAMIENTO DE PARO DE EMERGENCIA.....	66
5 CONCLUSIONES Y DETALLES A MEJORAR	69
6 BIBLIOGRAFÍA	71

Listado de Figuras

Figura 1. Robot UR10E	13
Figura 2. Robot SCARA T3-B401S EPSON	14
Figura 3. Robot delta DLE-DR-005 IGUS.	14
Figura 4. Esquema conceptual de la línea automatizada objeto del trabajo	20
Figura 5. Puerta de cinta transportadora	22
Figura 6. Cinta transportadora curva.....	22
Figura 7. Cinta transportadora	22
Figura 8. Transportadora de rodillos	23
Figura 9. Clasificador de brazo con cinta	23
Figura 10. Clasificador de ruedas	25
Figura 11. Sensor fotosensible	25
Figura 12. Centro de mecanizado CNC	25
Figura 13. Sensor inductivo.....	26
Figura 14. Robot de ensamblaje.....	26
Figura 15. Cuadro de mando de la línea en Factory IO.....	28
Figura 16. Diagrama GRAFCET genérico	28
Figura 17. Ejemplo de la nomenclatura utilizada en los diagramas GRAFCET.	29
Figura 18. Diagrama GRAFCET de Control	31
Figura 19. Diagrama GRAFCET de Línea Principal.....	32
Figura 20. Diagrama GRAFCET de Línea Azul Tapas.....	33
Figura 21. Diagrama GRAFCET de Línea Azul Tapas: Barrera y Semáforo	34
Figura 22. Diagrama GRAFCET de Línea Azul Bases: Barrera y Semáforo	34
Figura 23. Diagrama GRAFCET de Control Reset Ensambladora Azul	36
Figura 24. Diagrama GRAFCET de Control Cintas Ensambladora Azul.....	36
Figura 25. Diagrama GRAFCET de Ensambladora Azul.....	37
Figura 26. Diagrama GRAFCET de Control Final Azul	38
Figura 27. Módulo SM 1221 16DI	39
Figura 28. CPU Siemens 1214C AC/DC/RLY	39
Figura 29. Módulo SM 1222 16DQ	40

Figura 30. Panel de operario diseñado en Factory IO.....	41
Figura 31. Pantalla de menú 1 en el HMI	43
Figura 32. Pantalla de menú 2 en el HMI	43
Figura 33. Pantalla de control de mando en HMI	44
Figura 34. Pantalla de Línea Metal Tapas 2 en HMI.....	44
Figura 35. Pantalla de centro de mecanizado CNC de Línea Azul en HMI	45
Figura 36. Pantalla de control de centro de mecanizado CNC de Línea Azul en HMI	45
Figura 37. Pantalla de robot de ensamblaje azul en HMI.....	46
Figura 38. Pantalla de contadores en HMI.....	46
Figura 39. Esquema de comunicaciones	47
Figura 40. Vistas de la aplicación móvil Cálculos Eléctricos.	55
Figura 41. Vista del control de mando con el modo normal seleccionado y la pantalla de Línea Principal en el HMI.	57
Figura 42. Secuencia de inicio del modo normal y la clasificación de piezas metálicas.....	57
Figura 43. Secuencia de clasificación de materia prima azul.	58
Figura 44. Pantalla de la Línea Azul Tapas 1 en el HMI,	59
Figura 45. Secuencia de mecanizado de piezas en el centro de mecanizado CNC.....	60
<i>Figura 46. Pantalla de Tornos de Línea Azul y Ensambladora Azul en HMI</i>	<i>61</i>
Figura 47. Secuencia del ciclo de ensamblaje.	62
Figura 48. Secuencia de desplazamiento de cajas con producto ensamblado y pantalla de contadores en HMI.....	63
Figura 49. Vista general de la planta y el panel de operario con el modo de paro activado.	64
Figura 50. Vista general de la planta detenida en el modo de funcionamiento paro o STOP. ...	65
Figura 51. Pantalla del control de mando del HMI con el modo paro activado.	65
Figura 52. Vista general de la planta detenida por una emergencia y panel de operario con el interruptor de emergencia pulsado.	67
Figura 53. Pantalla de control de mando en el HMI con el botón de paro de emergencia activado y la pantalla de Línea Azul Tapas 1 indicando la apertura de la puerta CBTG.....	67

1 Introducción, objetivos y estructura

1.1 Introducción

En el presente trabajo de fin de grado se ha diseñado una línea de mecanizado y ensamblaje desde la concepción inicial del proceso industrial a automatizar hasta su posterior simulación virtual, donde se han podido realizar todas las pruebas necesarias, incluyendo la evaluación de diferentes tipos de procesos y el uso de diferente maquinaria y dispositivos, para cumplir con la idea principal, siendo el método de la simulación virtual una herramienta muy útil para el diseño y optimización de la línea de producción, que ha permitido realizar modificaciones fácilmente conforme surgían fallos o nuevas ideas.

Se ha elegido el campo del mecanizado y el ensamblaje en la industria para aplicar los conocimientos sobre automatización industrial y control de procesos adquiridos durante mi trayectoria en el Grado de Ingeniería Eléctrica.

1.2 Objetivos

El objetivo del presente trabajo es la automatización de una línea de mecanizado, clasificación y ensamblaje de recipientes con tapa de dos materiales diferentes, metálicos y no metálicos (denominados material azul en la simulación), donde la propia línea es capaz de clasificarlos para que circulen por las líneas diseñadas para cada uno, posteriormente serán procesados con centros de mecanizado CNC donde se obtendrán bases y tapas, que acto seguido serán dirigidas a la estación de ensamblaje, donde valga la redundancia, se ensamblarán obteniendo el producto acabado y siendo finalmente depositado en un pallet o caja.

Para la virtualización de la línea se ha diseñado una simulación utilizando el software Factory IO, donde se ha podido construir virtualmente la línea utilizando los diferentes recursos 3D funcionales y configurables que dispone, como distintos tipos de maquinaria y elementos comunes que están presentes en las líneas de producción industriales reales, y TIA Portal para la programación del autómatas PLC S7-1200, el dispositivo encargado de realizar el control y funcionamiento de todos los procesos automatizados.

El segundo objetivo se basa en la comunicación entre el autómatas y la simulación de la línea, la cual hemos podido realizar mediante el software de SIEMENS S7-PLCSIM, ha sido una herramienta muy cómoda al no tener que recurrir a servidores y software externo, ya que pertenece al grupo de software de TIA Portal (SIMATIC S7) y era muy sencillo realizar la comunicación y poder probar el funcionamiento de la simulación de la línea.

Por último, también se ha desarrollado una Interfaz Humano Máquina (HMI en su siglas en inglés). Se trata de un panel de control que permite al usuario interactuar con la línea. El HMI desarrollado muestra información a tiempo real sobre los procesos que se están realizando en la simulación, como por ejemplo muestra las cintas transportadoras y los centros de mecanizado CNC que están en funcionamiento; o poder maniobrar sobre el control de la línea cambiando el modo de funcionamiento; entre otras opciones. El uso de un HMI mejora la comunicación entre la línea de producción y el usuario.

1.3 Estructura

El presente trabajo se desarrolla en los siguientes puntos:

- **Antecedentes.** El capítulo 2 detalla el concepto de línea de ensamblaje y mecanizado CNC, donde se analizan las características y las ventajas que supone su implementación en la producción de un producto. Además, se analiza la robótica utilizada y diversos factores a tener en cuenta en las líneas de ensamblaje en la industria actual, los diferentes tipos de mecanizado CNC que se aplican en la industria, y por último se da a conocer los materiales más comunes empleados para el mecanizado CNC.
- **Propuesta.** El capítulo 3 detalla en profundidad, paso a paso, la propuesta desarrollada. Se explica la simulación diseñada en Factory IO, los componentes que se han utilizado y que han sido necesarios para diseñarla, como se ha programado la línea y se explican los diagramas GRAFCET realizados. También se muestra la interfaz HMI desarrollada y el tipo de comunicaciones que se utilizan.
- **Resultados.** En el capítulo 4 se expone los resultados obtenidos de la simulación de Factory IO, se explica el comportamiento que presenta la línea según el modo de funcionamiento apoyándose de las capturas del video de demostración y las pantallas diseñadas para el HMI.
- **Conclusión y detalles para mejorar.** En el capítulo 5 se relatan las conclusiones a las que se ha llegado tras finalizar el trabajo, y se exponen varias mejoras que se pueden implementar en la simulación y la programación en el futuro.

2 Antecedentes

2.1 El ensamblaje

Una línea de ensamblaje se refiere a un proceso mediante el cual se incorporan piezas a un determinado producto, hasta llegar a su integración total. Este proceso de fabricación se hace en forma de secuencia y para ello se gestiona mediante un tablero de control operado por ordenador. La automatización es parte fundamental del proceso, de forma tal que apenas se requiera de intervención humana.

Son varias las ventajas que se adquieren al implementar una línea de ensamblaje a la hora de producir un producto:

- **Ahorro de tiempo.** En definitiva es una de sus principales ventajas, se evita que haya una intervención de diversas personas que retrase el ensamblaje del producto final. Gracias a esto, las líneas de ensamblaje son rápidas en comparación con otros sistemas convencionales.
- **Automatización de la línea de ensamblaje.** La automatización de procesos ha reducido enormemente la intervención humana y la mano de obra. Esto se traduce en destinar al personal a otro tipo de actividades, además de que se garantiza su seguridad, sobre todo si se tienen que realizar labores de riesgo.
- **Reducción de costes.** Al disminuir el tiempo y la mano de obra necesaria, los costes de producción del producto disminuyen.
- **Exactitud.** Las líneas de ensamblaje que operan de forma automatizada garantizan y da certeza a los acabados del producto final, eliminando o disminuyendo drásticamente errores.
- **Aumento del volumen de producción.** Una línea de ensamblaje es rápida, precisa y está automatizada, lo que se traduce en un aumento en la producción y en la rentabilidad.

La conveniencia de implementar una línea de ensamblaje ofrece múltiples ventajas, y para elegir el tipo de sistema de ensamblaje dependerá del tipo de productos que se vayan a procesar, de forma que el ritmo de producción se mantenga en una línea por células, constante o flexible. Existen además distintas líneas de ensamblaje, según el tipo de producto, como por

ejemplo las denominadas simples, las múltiples o las mixtas, o según la duración de las tareas, o de la arquitectura de la línea.

Por supuesto, en cualquiera de estos casos será necesario contar con toda las piezas necesarias para llevar a cabo el proceso. Y es ahí donde los procesos de mecanizado están estrechamente relacionados con la automatización y las líneas de ensamblaje (Umesal, 2024).

En la industria, el mecanizado y el ensamblaje se erigen como pilares fundamentales para lograr una producción eficiente y entregar productos de la calidad requerida por el cliente. Estos procesos abarcan la producción completa de materias primas en productos finales, desde su concepción hasta su materialización.

Más allá de la mera transformación, la fabricación y el ensamblaje garantizan el cumplimiento de estándares de calidad rigurosos. Cada pieza y componente son meticulosamente elaborados para cumplir con las especificaciones técnicas y estéticas establecidas en su diseño (I-Mas, 2024).

2.2 Robótica en el ensamblaje

Una de las tareas más frecuentes, repetitivas y exigentes en una línea de mecanizado y ensamblaje es el propio ensamblaje de las piezas. En el ámbito industrial, el proceso de ensamblaje representa la unión de múltiples piezas o componentes para crear un producto final completo, como se ha explicado en el punto anterior. Se trata de un proceso repetitivo que requiere de gran precisión, por lo que la automatización de las líneas de ensamblaje es un objetivo para cada vez más industrias. (Robotnik, 2024)

Las distintas tareas de montaje y sus necesidades determinan que robot seleccionar. Todos los tipos de robots son capaces de realizar montajes pero no todas las tareas de montaje pueden ser realizadas por cada robot. La Figura 1 muestra el modelo de robot UR10E, un ejemplo de robot industrial colaborativo utilizado en la industria para tareas de ensamblado, alimentación de máquinas o paletizado.



Figura 1. Robot UR10E

Los factores clave que determinan que robot debe utilizarse son:

- **Complejidad del montaje.** Los ensamblajes complejos que requieren flexibilidad son una gran elección para los robots de seis ejes. Esto se debe a su excepcional rango de movimiento y a su capacidad para alcanzar ángulos difíciles. Los robots colaborativos (ver Figura 1) son un ejemplo de robot de seis ejes que puede desplegarse cerca de las personas.
- **Carga útil y alcance.** Las aplicaciones de alta carga útil y/o gran alcance suelen ser difíciles para la mayoría de los tipos de robots. Variantes como el delta y el SCARA, como se muestran en la Figura 2 y Figura 3, como suelen ser tipos de robots más pequeños y menos potentes, y por tanto, se utilizan en aplicaciones más pequeñas. Es fundamental conocer la carga útil y el alcance necesarios para completar la tarea. Los errores en este aspecto son costosos.
- **Velocidad.** Todos los robots tienen la capacidad de ser rápidos pero algunos están ciertamente en el escalón superior de la categoría de velocidad. Los robots delta pueden alcanzar las mayores velocidades pero también son extremadamente sensibles a los cambios de dirección. Son excelentes para aplicaciones de alta velocidad y baja carga útil. Una mala elección para una aplicación muy rápida sería un cobot que suelen tener la velocidad limitada por razones de seguridad (Tecnología para la industria, 2024).

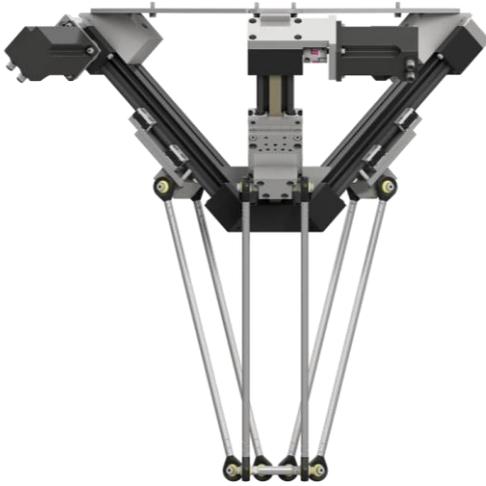


Figura 3. Robot delta DLE-DR-005 IGUS.



Figura 2. Robot SCARA T3-B401S EPSON

Los robots se utilizan en una gran variedad de aplicaciones dentro del proceso de ensamblaje en la industria, donde se incluyen:

- **Ensamblaje de piezas pequeñas.** El ensamblaje de piezas pequeñas implica la delicada manipulación y colocación de componentes de dimensiones pequeñas dentro de un producto final. El robot recoge con precisión las piezas de su contenedor de almacenamiento o de la cinta transportadora y las deposita exactamente donde se requieren en el ensamblaje y, posteriormente, asegura las piezas en su lugar mediante métodos de fijación adecuados, ya sea soldadura, pegado y otro método de unión.
- **Clasificación y selección.** La identificación y separación de diferentes tipos de componentes en función de sus características distintivas. Utilizando sistemas de visión y sensores avanzados, el robot reconoce y clasifica las piezas según su forma, tamaño, color u otras propiedades específicas. Una vez identificada, procede a seleccionar automáticamente las piezas necesarias para el ensamblaje, clasificándolas según se requiera y optimizando el flujo de trabajo.
- **Pick & Place.** En el caso de los robots móviles, estos, además de utilizarse para las aplicaciones ya descritas, pueden recoger piezas individuales de un contenedor de almacenamiento y transportarlas a la estación de ensamblaje. Esto incluye la selección precisa de componentes electrónicos, mecánicos o de cualquier otro tipo necesarios para el ensamblaje.
- **Colocación y fijación de componentes.** El robot puede colocar las piezas en su posición correcta dentro del producto de ensamblaje. Esto implica la alineación precisa de los componentes y su fijación mediante tornillos, adhesivos u otros métodos de sujeción.
- **Soldadura.** Para ensamblar componentes electrónicos, el robot puede llevar a cabo tareas de soldadura, ya sea soldadura por puntos, soldadura de superficie o soldadura de componentes a través de la placa de circuito impreso.

-
- **Inspección de calidad.** Los robots pueden realizar tareas de inspección de calidad para verificar que todas las piezas estén correctamente ensambladas y funcionen según lo previsto. Esto puede incluir pruebas de funcionamiento, pruebas de resistencia y verificación de tolerancias dimensionales.

La creciente demanda de productos fabricados a medida y los avances y tendencias tecnológicas están marcando el futuro. La digitalización se ha convertido en un requisito fundamental para respaldar las nuevas formas de producción, alejándose del tradicional modelo de cadena de montaje. En ese contexto, las soluciones robóticas de ensamblaje están desempeñando un papel crucial para aportar soluciones flexibles para la industria y llegar a un futuro más automatizado. (Robotnik, 2024).

2.3 El mecanizado CNC

Las máquinas de control numérico por ordenador (o CNC en sus siglas en inglés, “Computer Numerical Control”) son dispositivos de fresado automatizados que fabrican componentes industriales sin asistencia humana directa. Utilizan instrucciones codificadas enviadas a un ordenador, lo que permite a las fábricas fabricar piezas con precisión y rapidez.

El mecanizado CNC es un proceso de fabricación “sustractivo”, utiliza controles informáticos y máquinas herramienta para eliminar capas de material de una pieza en bruto (o pieza de trabajo) y producir una pieza personalizada. Este método suele presentarse en lugar de los procesos de fabricación aditiva, como la impresión 3D, o los procesos de fabricación formativa, como el moldeo por inyección de líquidos. La naturaleza automatizada del mecanizado CNC permite crear piezas sencillas de gran precisión y fabricar series únicas de producción a media escala de forma rentable.

El mecanizado CNC es un proceso de fabricación adecuado para diversas industrias, como la automovilística, la aeroespacial y la de la construcción. Puede desarrollar una amplia gama de productos, como chasis de coches, equipos quirúrgicos y motores de aviones. El proceso abarca varios métodos, como el mecánico, el químico, el eléctrico y el térmico, para eliminar el material necesario de la pieza y dar forma a una pieza o producto a medida (3DS, 2024).

A continuación se presentan ejemplos de las operaciones de mecanizado CNC más comunes:

- **Taladrado CNC.** En este caso la máquina CNC hace avanzar la broca que gira en torno al uso de herramientas de corte rotativas para crear orificios perfectamente circulares en una pieza fija. Su diámetro es igual al de la broca utilizada para el taladro. Las capacidades operativas del proceso de taladrado incluyen el avellanado, el fresado, el escariado y el roscado. (Prototool, 2024) (3DS, 2024).
- **Fresado CNC.** Durante el fresado CNC, la máquina alimenta la pieza a la herramienta de corte en la misma dirección que la rotación de la herramienta. Esto no ocurre en el

fresado manual. En este caso, la máquina alimenta la pieza en sentido contrario a la rotación de la herramienta de corte (3DS, 2024).

- **Torneado CNC.** El torneado CNC es una operación en el que se va dando forma a la pieza eliminando parte del material inicial siguiendo un patrón de movimiento concreto que coincide con el diseño final de la pieza. La máquina se compondría de dos o más carros para, por un lado hacer girar el material sobre sí mismo, y por otro lado, para moverse alrededor del material en distintas direcciones para lograr la mecanización de las piezas de forma cilíndrica que dará resultado a la pieza final. Las capacidades operativas del proceso de torneado incluyen el mandrinado, el refrentado, el ranurado y el roscado. (Talleres Mediavilla, 2024)

2.4 Los materiales CNC

Antes de elegir un material para el mecanizado CNC, es fundamental entender la pieza que se va a mecanizar, esto incluye considerar su tamaño, el número de partes que se van a utilizar de una unidad de material y el tipo de condiciones mecánicas y térmicas que soportará. Además, es importante tener en cuenta la trayectoria de la pieza durante el mecanizado, ya que ciertos procesos de corte intensivos pueden generar calor que podrían deformar materiales menos resistentes.

La diversidad de materiales disponibles para el mecanizado CNC es amplia, y cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas, que desde metales hasta plásticos, la elección adecuada puede influir significativamente en la eficiencia del proceso de fabricación, la calidad del producto final y la rentabilidad del proyecto. (Weerg, 2024)

Los materiales más comunes que podemos encontrar en el mecanizado CNC son:

- **Aluminio.** Es la mejor opción para la industria aeroespacial y automovilística debido a su excelente relación resistencia-peso, sin embargo, su coste es mayor y su soldadura es más compleja que el acero. Entre los aluminios más utilizados podemos encontrar el 5083 T651 (Peraluman), el 6082 T651 (Anticorodal) y el 7075 T651 (Ergal). (Metalmecánica, 2024) (Weerg, 2024)
- **Acero inoxidable.** Es versátil y resistente, pero en ocasiones difícil de mecanizar. Su aplicación se encuentra relacionada con el sector alimentario, aunque también en la fabricación de máquina, herramientas, en arquitectura y el sector aeroespacial. Los diferentes tipos que se pueden encontrar son Acero Inoxidable AISI 304 y AISI 316L. (Metalmecánica, 2024) (Weerg, 2024)

-
- **Metales suaves.** Los metales suaves que son utilizados para el mecanizado CNC son el latón, el cobre y el bronce, entre ellos el OT58, C101 y el CuSn12, respectivamente. (Metalmecánica, 2024) (Weerg, 2024)
 - **Plásticos.** Polipropileno, nylon, acrílico, policarbonato y pvc. Este tipo de materiales tienen un reducido coste y resaltan por su resistencia mecánica, su dureza y rigidez. Entre ellos se pueden encontrar el Nylon 6 + MoS2 y el Delrin. (Metalmecánica, 2024) (Weerg, 2024)

3 Propuesta

3.1 Descripción de la propuesta

3.1.1 Idea principal

Se desea realizar una línea automatizada de mecanizado y ensamblaje de productos desde cero, sin partir de una idea ya realizada. Como se parte de una idea en blanco, no se dispone de un producto en sí que producir o necesidad de producir un producto en concreto, por tanto lo que se ha ideado es producir un producto genérico que se componga de una base y una tapa, de tamaño pequeño o mediano. A partir de esta idea, la línea debe ser capaz de producir y posteriormente ensamblar, de forma automatizada, las referidas tapa y base.

En cuanto a la materia prima, y con el objeto de añadir más tipos de procesos y control a la línea, se ha elegido que los productos con tapa y base a producir sean de dos tipos, metálicos y no metálicos. Los no metálicos se les denominará azules (por el color con el que se representan la materia no metálica en la escena simulada en el software de Factory IO).

En el momento de desarrollar el diseño de la línea se ha pensado en reducir al máximo el papel del operario sobre la línea, quedando su actuación únicamente como prevención cuando se produzca algún problema en la línea. Así se ha desarrollado una línea donde la mayoría de los procesos que se efectúan se han automatizado, siendo la única tarea del operario hacer uso del control de mando sobre la línea, como se verá más adelante.

3.1.2 Descripción de la línea

En la Figura 4 se puede observar un esquema conceptual sobre el diseño de la línea, las diferentes sublíneas que la componen y los elementos que actúan en ella:

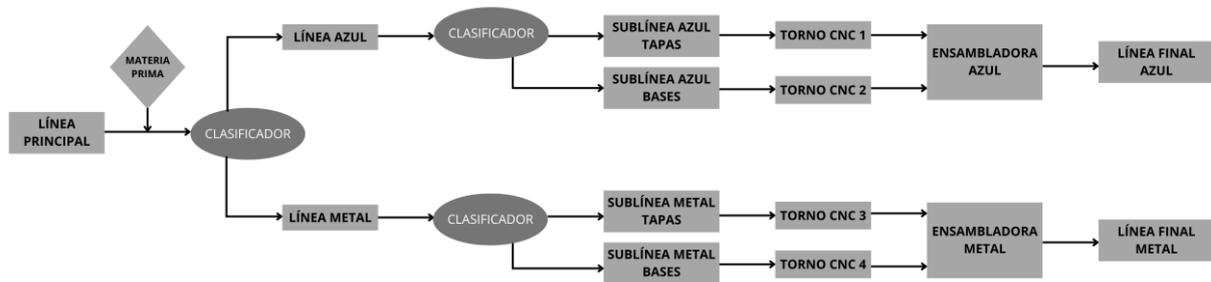


Figura 4. Esquema conceptual de la línea automatizada objeto del trabajo

Si se analiza el esquema de la Figura 4, se puede apreciar que la línea inicia con la *Línea Principal*, donde se introduce la materia prima, azul o metálica, y será clasificada por un brazo clasificador (ver Figura 9), redirigiendo la materia a su línea correspondiente, *Línea Azul* o *Línea Metal*. Una vez clasificada la materia prima y dirigida a su línea correspondiente, volverá a pasar por un proceso de clasificación mediante un módulo de ruedas emergentes clasificadoras (ver Figura 10), no obstante el criterio que se ha elegido para este proceso, por las limitaciones que presenta el software de Factory IO, es una pieza a cada sublínea, *Sublínea Tapas* y *Sublínea Bases* (con sus correspondientes etiquetas según la materia prima).

Acto seguido, con todas las sublíneas alimentadas con materia prima, esta es conducida hacia el centro de mecanizado CNC (ver Figura 12). Los centros de mecanizado CNC disponen de una máquina de mecanizado CNC (o torno CNC) y un robot colaborativo. La máquina de mecanizado CNC se ha programado para que procese una tapa o una base, según en la sublínea en la que se encuentre. El robot colaborativo (ver Figura 1) recoge la pieza de materia prima de la cinta transportadora (ver Figura 7), la introduce en la máquina de mecanizado CNC, y una vez procesada la saca de la máquina y la dispone en la siguiente cinta transportadora (ver Figura 7). Cabe indicar que no se ha podido intervenir en la programación del robot colaborativo, ya que viene preprogramado por defecto en el software de Factory IO.

Una vez procesada la tapa o la base, se dirige hacia la estación de ensamblaje, donde el robot de ensamblaje (ver Figura 14) (o ensambladora) recoge la tapa con su brazo, gira sobre su propio eje hacia la cinta donde se encuentra la base, ensambla ambas piezas, vuelve a girar sobre su propio eje, y dispensa el producto ensamblado en una caja. Esta caja se encuentra en la *Línea Final (Azul o Metal)*, que una vez se deposite el número de productos ensamblados elegido, la caja es desplazada por la cinta de rodillos (ver Figura 8) para almacenarla y reponer una caja vacía, para poder reservar más productos ensamblados.

Cabe indicar que a la hora de diseñar y programar toda la línea, inicialmente se desarrolló la *Línea Principal* y la *Línea Azul*, siendo la *Línea Metal* una deducción de la *Línea Azul*.

3.2 Diseño de la simulación de la propuesta en Factory IO

3.2.1 Diseño de la línea y componentes utilizados

En esta sección se va a hablar sobre el diseño de la línea y los componentes que se han utilizado para que la idea principal propuesta pudiera llevarse a cabo, tomando como referencia la escena simulada de Factory IO.

Como se indica, los elementos que se han utilizado para diseñar la línea se han elegido referencialmente de los componentes que ofrece el software Factory IO. Este programa es una buena herramienta para desarrollar proyectos y soluciones industriales en el entorno educativo y formativo, ya que permite diseñar escenas simuladas sobre el proyecto en desarrollo, dispone de una biblioteca de piezas y componentes industriales comunes para el diseño de la simulación y mediante la comunicación con un PLC u software de simulación de PLC se puede probar el funcionamiento de la planta o línea diseñada, y comprobar que el programa escrito y el PLC funcionan correctamente, o detectar fallos y tener la posibilidad de corregir antes de la puesta en marcha de un proyecto.

Los componentes utilizados en la escena de simulación son los siguientes:

3.2.1.1 Cintas transportadoras.

En la simulación se emplean cintas transportadoras, como se puede ver en la Figura 7, de diferentes medidas, entre ellas de 6 m, 4 m y 2 m. También se utilizan cintas transportadoras curvas, tal y como se muestra en la Figura 6, de las cuales solo hay una medida disponible y permiten dar un giro de 90° a la dirección de una línea. Por último, en la Figura 5 se ve un ejemplo de las puertas de cintas transportadoras que se utilizan, de las cuales también se dispone una medida únicamente, para poder acceder a las zonas interiores que quedan bloqueadas por las cintas transportadoras.

Las cintas transportadoras elegidas para el dimensionamiento real de la línea funcionan con un motor trifásico a 400 V y consume 1100 W de potencia. La carga soportada por la cinta es de 35 kg/m y tienen una velocidad fija de 15 mt/m. En cuanto a las cintas curvas, funcionan con un motor trifásico a 400 V y consumen una potencia de 250 W, existen de diferentes medidas y ángulos de giro, pero para la simulación se ha elegido el giro a 90 °. Información en la página web de Ferplast (Ferplast, 2024).

Por último y respecto a las puertas de cintas transportadoras, no se ha conseguido mucha información respecto a ellas, tan solo se ha podido recabar información sobre su precio. Información en la página web de Ashland (Ashland Conveyor Products, 2024).

En las figuras 6, 7 y 8 se muestra una vista de las cintas utilizadas en la escena de Factory IO.

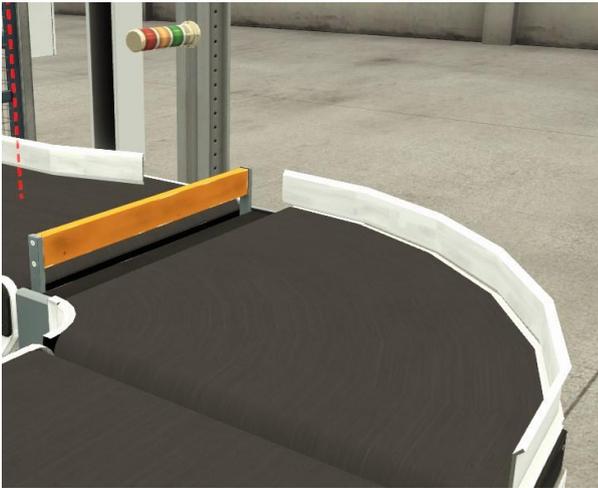


Figura 6. Cinta transportadora curva

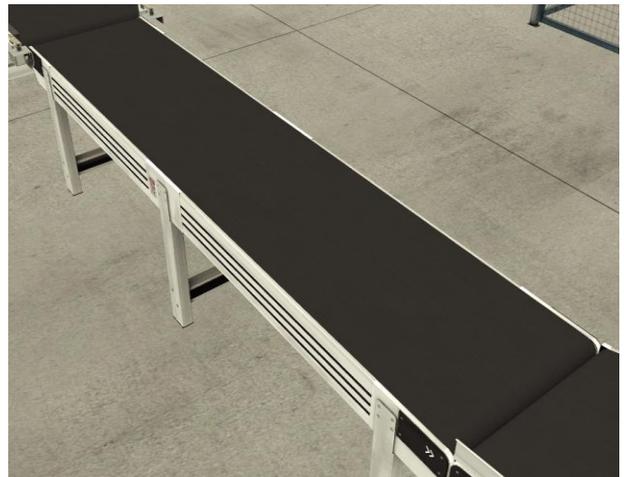


Figura 7. Cinta transportadora

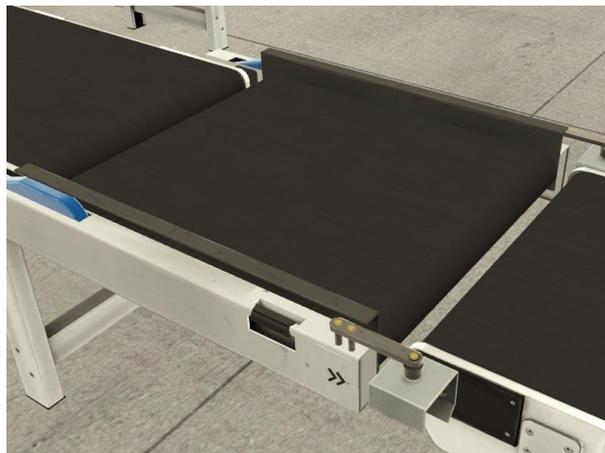


Figura 5. Puerta de cinta transportadora

3.2.1.2 Transportadoras de rodillos.

En la simulación se emplean dos transportadoras con rodillos de 2 m, como se muestra en la figura 8, una en cada *Línea Final*, que se ubica después de cada estación de ensamblaje. Estas cintas transportan las cajas donde se almacenan los productos ensamblados por el robot de ensamblaje.

La transportadora de rodillos elegida funciona con un motor monofásico a 48 V, consumiendo 50 W de potencia. Con una carga máxima soportable de 500 kg/m. Información en la página web de Interroll (Interroll, 2024).

3.2.1.3 Clasificador de brazo con cinta.

En la simulación, en la *Línea Principal* se utiliza el primer módulo de clasificación, que clasifica la materia prima en materia azul y materia metálica. Esta clasificación se hace posible gracias al brazo con cinta clasificador, como se puede observar en la figura 9, el cual cuando un sensor inductivo detecta que la materia prima es metálica, el brazo se acciona girando en su propio eje 45° y desviando la pieza metálica hacia la *Línea Metal*. El brazo dispone de una cinta que ayuda en el desplazamiento de la pieza metálica durante la desviación.

En este caso, tampoco se ha conseguido encontrar información de un dispositivo igual o similar, por tanto se ha supuesto que funciona con un motor trifásico a 400 V consumiendo una potencia de 200 W para poder realizar el dimensionamiento eléctrico.

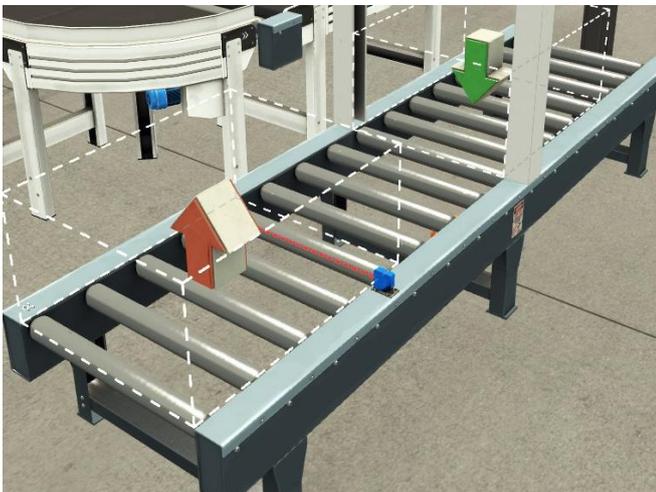


Figura 8. Transportadora de rodillos

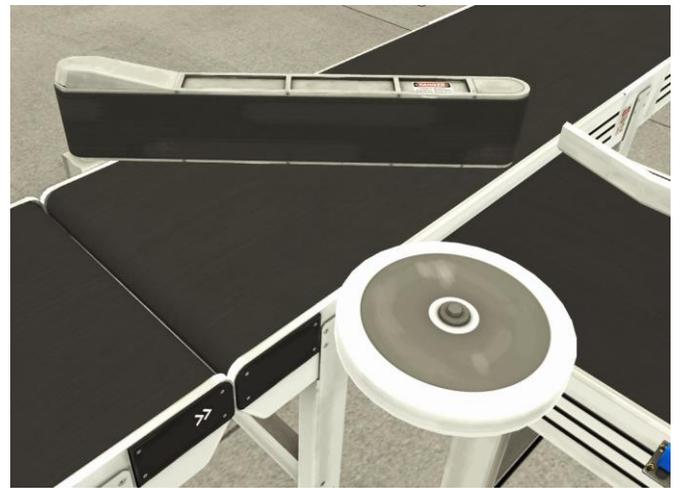


Figura 9. Clasificador de brazo con cinta

3.2.1.4 Clasificadores de ruedas emergentes.

Otro tipo de módulo de clasificación que se ha utilizado, tal y como se muestra en la figura 10, en la simulación son el clasificador con ruedas emergentes. Este módulo se encuentra en la *Línea Azul* y en la *Línea Metal*, y se utiliza para enviar la materia prima a cada sublínea (Tapas y Bases). Un sensor detecta cuando una pieza de materia prima va a entrar en el clasificador, por tanto hace que las ruedas emergentes cambien su dirección, dirigiendo, cada vez que el sensor detecta, las piezas a una de las sublíneas.

El clasificador de ruedas emergentes elegido funciona con un motor trifásico a 220 V que consume una potencia de 400 W. La carga máxima que puede soportar es 60 kg y las ruedas tienen un ángulo de giro de 360° . Información en Alibaba (Alibaba, 2024).

3.2.1.5 Robot de ensamblaje.

La figura 14 muestra el robot de ensamblaje que se utiliza para ensamblar las tapas con las bases en la estación de ensamblaje. Se han dispuesto una en cada línea (*Azul y Metal*). El robot dispone de un brazo con dos grados de libertad, eje X y eje Z, además de que puede girar en su propio eje 360 °. Adicionalmente se ha desarrollado un método de control mediante sensores para que el brazo robot vuelva a una posición inicial cuando se restaure el modo de funcionamiento de la línea.

En este caso tampoco se ha podido encontrar un dispositivo igual o similar al que se muestra en Factory IO. En su defecto se puede utilizar un robot colaborativo, como los utilizados en los centros de mecanización CNC. No obstante, se ha realizado un supuesto donde cada eje del robot funciona con un motor trifásico a 400 V que consume 3500 W aproximadamente, para poderse acercar a más a la simulación.

3.2.1.6 Barreras y semáforos.

En la entrada a cada centro de mecanizado CNC se ha desarrollado un sistema de barreras y semáforos (ver fig. 6) para controlar la densidad de piezas que entran al centro, el sistema se ha desarrollado mediante sensores. Cuando se detecta que el centro de mecanizado CNC está procesando una pieza, y además ya hay una pieza en espera de ser procesada, la barrera se levantará y el semáforo cambiará a color amarillo. En total se utilizan 4 barreras y 4 semáforos.

3.2.1.7 Sensores.

En la simulación se utilizan dos tipos de sensores, sensores fotosensibles y un sensor inductivo. El sensor inductivo se utiliza para poder detectar la materia prima en la *Línea Principal*, como se ha explicado anteriormente. Todos los demás sistemas de control por detección se desarrollan utilizando sensores fotosensibles. En la figura 11 y 13 se puede ver una vista de los sensores que se han utilizado en Factory IO.

El sensor fotosensible elegido es el Sic WL100-P1232, con un rango de detección de 0 a 4m. Se alimenta a 24 V DC y tiene un consumo sin carga de menos de 30 mA.

3.2.1.8 Centro de mecanizado CNC (máquina CNC y robot colaborativo).

Como se ha explicado anteriormente, el centro de mecanizado CNC se compone de una máquina de mecanizado CNC y un brazo robot colaborativo. El robot colaborativo alimenta a la máquina de mecanizado, y esta procesa la materia prima en tapa o base. En la línea se han dispuesto 4 centros de mecanizado CNC, para poder abastecer a cada estación de ensamblaje de tapas y bases de los dos tipos de materia prima, metal y no metal.

La máquina de mecanizado CNC elegida es un torno CNC que se alimenta a 400 V y consume una potencia de 5.5 kW. El husillo tiene una velocidad máxima de 4000 rpm, el diámetro del portabrocas es de 12 pulgadas. Información en Alibaba (Alibaba, 2024).

En cuanto al robot colaborativo, se ha elegido el robot industrial URe10. El robot se alimenta de 240 V y consume una potencia de 615 W. Posee 6 articulaciones giratorias, su carga útil es de

12,5 kg y el alcance máximo del robot es 1.3 m. Información en Universal Robots (Universal Robots, 2024).



Figura 12. Centro de mecanizado CNC

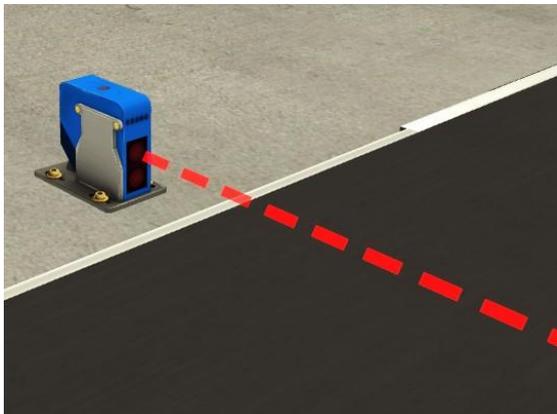


Figura 11. Sensor fotosensible

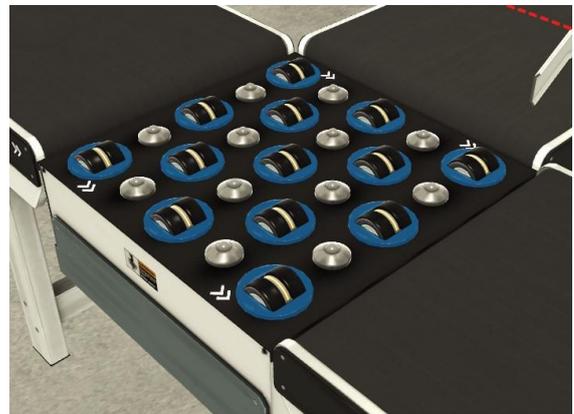


Figura 10. Clasificador de ruedas

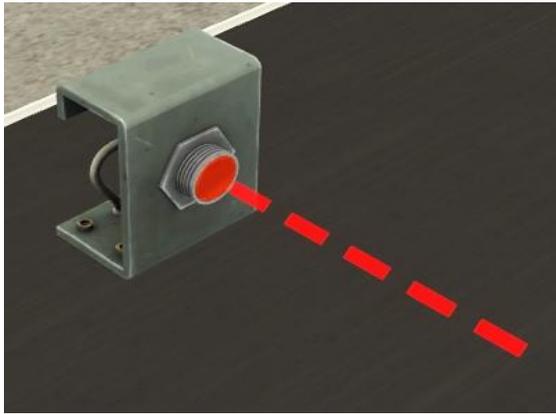


Figura 13. Sensor inductivo

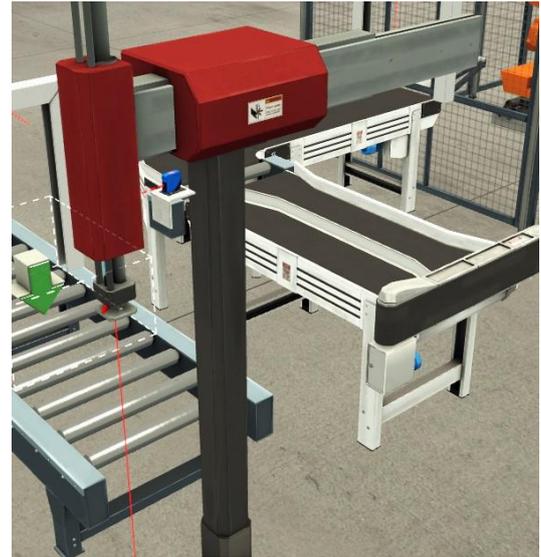


Figura 14. Robot de ensamblaje

3.2.2 Modos de funcionamiento

Los modos de funcionamiento de una línea industrial son las diferentes configuraciones en las que puede operar la línea como por ejemplo para cumplir con los objetivos de producción o para interactuar con la línea en situaciones de emergencia.

Para ello se ha creado un cuadro de mando, el cual dispone de diferentes pulsadores y pantallas, donde el operario puede actuar sobre el modo de funcionamiento en el que vaya a operar la línea. El cuadro de mando está compuesto por 3 pulsadores (verde, rojo y amarillo) y un interruptor de emergencia, además de disponer de dos pantallas (o “displays”) cuyo funcionamiento se explica más adelante. Con estos elementos se han desarrollado 3 modos de funcionamiento: Modo normal o START, modo paro o STOP y modo Paro de Emergencia.

3.2.2.1 Modo START

En este modo de funcionamiento, el operario pulsará el pulsador verde del cuadro de mando. Al entrar la línea en el modo START, todas las cintas y elementos de la línea comenzarán a funcionar, activándose todos los motores de los actuadores y el emisor de producto, que está configurado para que emita materia prima de ambos tipos y por orden aleatorio, en espacios de tiempo de 8 segundos entre emisión.

3.2.2.2 Modo STOP

Durante el modo normal (o START) de funcionamiento se pueden producir diferentes situaciones muy comunes en el ámbito industrial como cambios en la producción, pueden surgir problemas en la calidad del producto, fallos de baja gravedad en los equipos o necesitar que se realicen actividades de mantenimiento en la línea. Toda esta casuística puede

producirse sin que sea realmente necesario detener totalmente la producción de la línea, por lo que se ha desarrollado el modo de funcionamiento paro o STOP.

Este modo de funcionamiento lo que ofrece es que cada elemento de la línea acabe su ciclo de operación: las piezas que están dentro de las máquinas de mecanizado acaben de ser procesadas, los robots de ensamblaje acaben de ensamblar las piezas y la materia prima y las piezas que están circulando por las cintas lleguen a su destino final. Todo ello sin alimentar la planta con más materia prima, es decir, el emisor de producto dejará de emitir materia prima. Por tanto, si se produce una de las situaciones comentadas en el párrafo anterior, no se perdería la producción de producto que se estaba realizando en la línea, antes de proceder a hacer las actuaciones convenientes que requiera la situación que se presente.

Para entrar en este modo de funcionamiento, el operario únicamente tendrá que pulsar el pulsador rojo de STOP y la línea automáticamente operará en el modo STOP. Al entrar en este modo de funcionamiento, se activará el led del pulsador amarillo RESET, para que cuando la línea acabe la producción y se haya detenido, se pueda reestablecer el control de mando y poder volver a iniciar el modo de funcionamiento normal o START pulsando su pulsador.

3.2.2.3 Modo de Paro de Emergencia

Este modo de funcionamiento es crucial para garantizar la seguridad en la línea, ya que con él se pueden prevenir daños en los equipos, proteger la integridad del producto y la línea y prevenir accidentes.

Para este modo de funcionamiento se han diseñado varias formas para poder hacer que la línea opere con él, dependiendo de la situación que se pueda presentar o el número de personal que haya presente en las inmediaciones de la línea. El operario puede pulsar el interruptor de emergencia que tiene disponible en el cuadro de mando y además, o también puede accionar una de las 3 puertas de cintas transportadoras. Si cualquiera de los elementos mencionados es accionado, todos los motores y los actuadores de la línea se detendrán, y se activará la alarma sonora y luminosa para alertar a los demás operarios de que se está produciendo una situación de emergencia.

En el caso del modo de Paro de Emergencia, una vez se haya resuelto la situación de emergencia, si se ha pulsado el interruptor de emergencia para entrar en el modo de funcionamiento, será necesario volverlo a accionar (desenroscarlo) y pulsar el pulsador RESET (del mismo modo que en el modo de paro o STOP), para reestablecer la línea y poder iniciar el modo normal o START.

En la Figura 15 se muestra una vista del cuadro de mando que se ha diseñado en Factory IO y controla los modos de funcionamiento explicados.

3.3 Desarrollo del programa con TIA Portal

3.3.1 Metodología de programación con GRAFCET

3.3.1.1 Diagramas GRAFCET

La metodología utilizada para el desarrollo de la programación del control de la línea ha sido los diagramas GRAFCET, también conocidos como Gráficos de Control por Etapas y Transiciones, que tal y como dice su nombre, utilizan etapas y transiciones para diseñar sistemas de control por secuencias.

Un diagrama GRAFCET se compone de diferentes elementos, que en su conjunto te muestran la secuencia del proceso diseñado. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un diagrama GRAFCET genérico para mostrar los elementos que lo componen:



Figura 15. Cuadro de mando de la línea en Factory IO

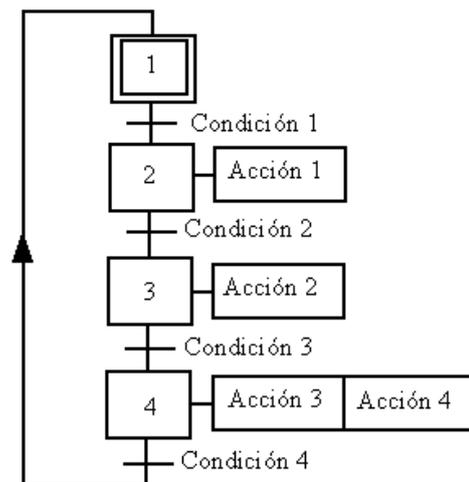


Figura 16. Diagrama GRAFCET genérico

Las etapas representan los estados o pasos del sistema o secuencia, son representadas con un cuadrado y son designados con un número o letra para seguir un orden secuencial. La secuencia desarrollada con el diagrama GRAFCET de la Figura 16 muestra cómo se parte de una etapa inicial (Etapa 1), representada con un cuadrado doble y su número identificativo en el centro, y la sigue la condición 1. Una vez se cumpla la condición 1, el sistema avanzará a la etapa 2. Siempre es necesario que una transición (o condición en la Figura 16) se cumpla para que el sistema avance y ejecute la etapa siguiente. Además, como se puede observar, cada etapa

normalmente tiene una o varias acciones asignadas, las cuales se ejecutarán cuando el sistema entre en la etapa a la que estén asignadas.

Las etapas y transiciones se unen mediante una línea vertical, la cual indica el sentido en el que se desarrollará el sistema o secuencia. Una vez finaliza la última etapa, la línea dibuja un arco que se dirige hacia la etapa inicial de nuevo, indicando el sentido con una flecha, y cerrando así el diagrama GRAFCET y el ciclo de la secuencia. No obstante, también se puede utilizar una nomenclatura diferente, donde no se utilizan los arcos para cerrar los diagramas, sino después de la transición final o la transición desde la que se parta, se designa a la etapa a la que va a avanzar el sistema mediante un círculo y la designación de la etapa, como muestra Figura 17 después de la etapa 12. Esta nomenclatura es la que se ha utilizado en el presente trabajo.

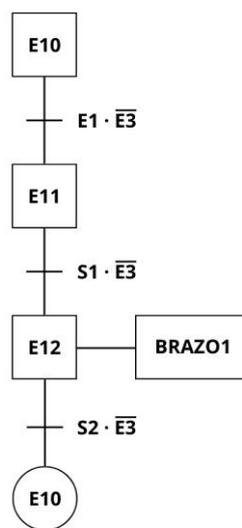


Figura 17. Ejemplo de la nomenclatura utilizada en los diagramas GRAFCET.

3.3.1.2 Funciones lógicas desde diagramas GRAFCET

Una vez se ha diseñado un diagrama GRAFCET de la secuencia a realizar, se pueden extraer ecuaciones lógicas del diagrama. Estas ecuaciones sirven para poder implementarlas en el PLC traduciéndolas en diagramas de contactos (o también conocido como LADDER). Para más información de los diagramas de contactos diseñados para la simulación, se pueden consultar en el Anexo D.

Hay dos tipos de ecuación lógica que se pueden obtener y que son necesarias para su implementación en la programación del PLC:

- **Ecuaciones lógicas de marcado de etapa:**

$$Y_{t+\Delta t} = S + \bar{R}Y_t \quad (1)$$

$$Y_{t+\Delta t} = \bar{R} (S + Y_t) \quad (2)$$

En la ecuación (1) se realiza el marcado de etapa con set prioritario, donde como se indica, el set predomina y realiza un enclavamiento prioritario.

En la ecuación (2) se realiza el marcado de etapa mediante reset prioritario, y como se indica, predomina el reset y realiza un disparo prioritario.

La Y representa la etapa, la S representa las condiciones para el *set* y la R las condiciones para el *reset*.

- **Ecuaciones lógicas de accionamientos.**

$$\text{Accionamiento} = \sum \text{Etapa de activación} \quad (3)$$

$$\text{Accionamiento} = \text{Condición} \cdot \text{Etapa de activación} \quad (4)$$

En la ecuación (3) el accionamiento es directo, es decir, si el sistema entra en la etapa asignada, el accionamiento se ejecuta.

En la ecuación (4) el accionamiento es condicional, es decir, el accionamiento se ejecutará cuando el sistema entre en la etapa, pero además debe haberse cumplido la condición adicional asignada a la etapa. Este tipo de accionamiento no se ha utilizado en el desarrollo del presente trabajo.

3.3.1.3 Descripción de diagramas GRAFCET desarrollados para la programación

En esta sección se van a describir y mostrar brevemente los diagramas GRAFCET que se han diseñado durante el desarrollo de toda la línea. Cabe indicar que se obviarán los diagramas GRAFCET referentes a la Línea Metal y sus consecuentes sublíneas debido a que son una extrapolación de la Línea Azul y sus sublíneas, por lo que sería redundante describirlos.

Los diagramas GRAFCET correspondientes a la *Línea Metal* se pueden consultar en el Anexo A. Además, también se pueden consultar las variables utilizadas en las acciones de todos los

diagramas GRAFCET, seguidos de una descripción detallada y de la dirección de entrada o salida a la que corresponden en el programa y en el PLC, en el Anexo B.

- **Diagrama GRAFCET de Control**

Este diagrama GRAFCET se encarga del control de los tres modos de funcionamiento explicados en el apartado 3.2.2 Modos de funcionamiento. Todos los diagramas GRAFCET desarrollados posteriormente dependen del diagrama de control, es decir, todos los elementos de la línea operarán según como se comporte el diagrama de control.

En la Figura 18 se puede observar el diagrama GRAFCET de control.

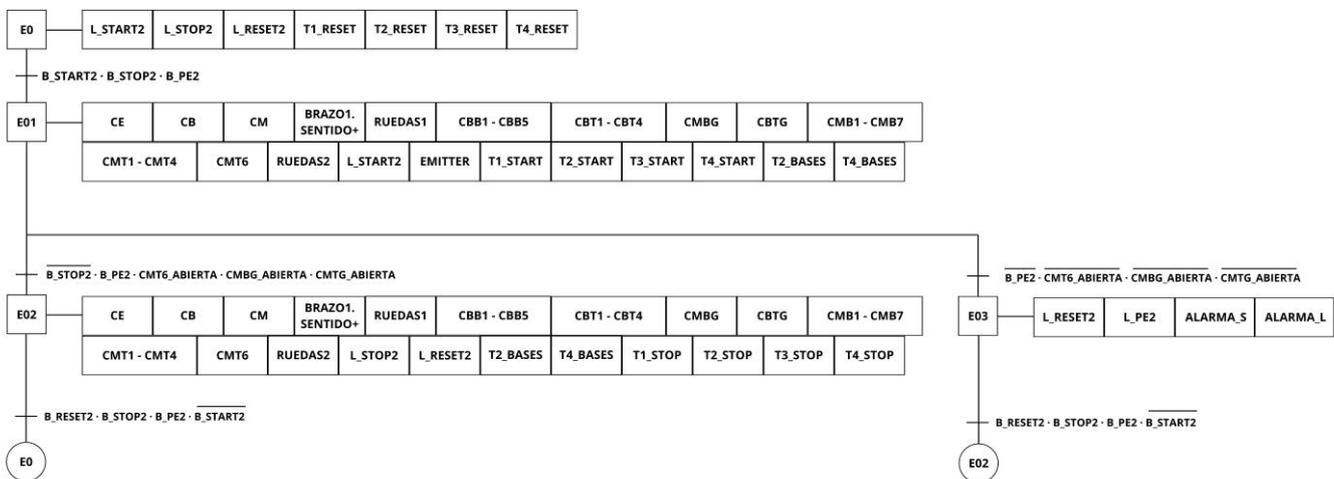


Figura 18. Diagrama GRAFCET de Control

Cabe indicar que la etapa E01 corresponde al modo de funcionamiento normal o START, que se encarga de activar los motores de la mayoría de las cintas (todas las variables precedidas por una C), de los clasificadores de ruedas emergentes (RUEDAS 1 y RUEDAS 2), de activar el funcionamiento de los centros de mecanizado CNC (T1_START, T2_START, ... etc.) y de activar el emisor de producto (EMITTER).

La etapa E02 corresponde al modo paro o STOP, y por último, la etapa E03 corresponde al modo de parada de emergencia, que desactiva todos los motores inmediatamente y activa las alarmas sonoras y luminosas (ALARMA_S y ALARMA_L).

- **Diagrama GRAFCET de Línea Principal**

Este diagrama se encarga del control de la línea principal, donde se produce la clasificación de la materia prima en metal o azul (no metal), dirigiéndolas hacia sus respectivas líneas, la Línea

Azul y la Línea Metal. La clasificación se realiza mediante el clasificador de brazo con cinta (BRAZO1), un sensor inductivo (S1) y un sensor fotosensible (S2).

En la Figura 19 se muestra el diagrama GRAFCET de Línea Principal.

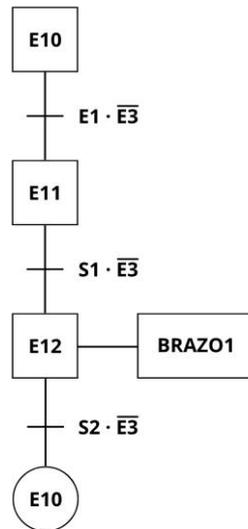


Figura 19. Diagrama GRAFCET de Línea Principal

Como se puede observar, se ha introducido por primera vez en el presente trabajo una etapa de espera, es decir, una etapa sin ninguna acción asignada. Este tipo de etapas se utilizan para que el sistema en un diagrama GRAFCET no actúe hasta que ocurra un suceso o condición, es decir, que se mantenga en reposo o como se ha indicado antes “en espera” hasta que se cumpla la condición asignada.

En este caso y en los futuros diagramas, ya que se va a utilizar mucho este recurso, se ha utilizado porque cuando se entra en el modo de funcionamiento normal o START, este diagrama no tiene que actuar inmediatamente, si no que tiene que esperar hasta que el sensor inductivo (S1) detecte materia prima.

- **Diagrama GRAFCET de Línea Azul Tapas**

Este diagrama se encarga de decidir si la materia prima azul, que acaba de ser clasificada en la Línea Principal, se va a procesar como una tapa o como una base. La lógica utilizada para la decisión es muy básica y sencilla, la primera pieza que entre en la línea será dirigida al centro de mecanizado de tapas, y la siguiente al centro de mecanizado de las bases, y así consecutivamente. La clasificación se realiza mediante un módulo de clasificación con ruedas emergentes, y la dirección de las ruedas se controla con la variable RUEDAS.SENTIDO-. En este control también participan tres sensores fotosensibles (SB, SB22 y SB23).

En la Figura 20 se muestra el diagrama GRAFCET de Línea Azul Tapas.

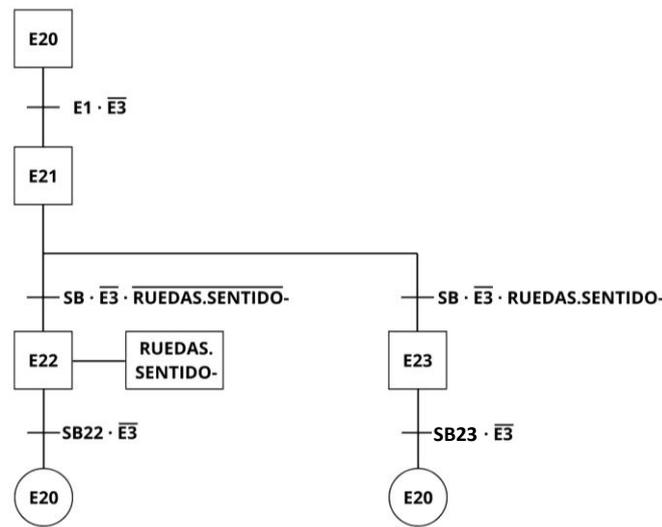


Figura 20. Diagrama GRAFCET de Línea Azul Tapas

- **Diagrama GRAFCET de Línea Azul Tapas: Barrera y Semáforo**

Este diagrama se encarga de controlar la activación de la barrera (BARRERA_BT) y de la luz que va a mostrar el semáforo (SEMA1) de la sublínea azul tapas. Este control se realiza en función de lo que esté ocurriendo en el centro de mecanizado CNC de la sublínea, es decir, la sublínea y el centro de mecanizado CNC se ha programado para que mientras el centro esté ocupado (procesando una tapa), tan solo haya una pieza de materia prima azul en espera en el centro de mecanizado.

Para realizar este control se ha requerido de dos sensores fotosensibles (SBT1 y SBT2), cuando SBT1 detecta una pieza de materia prima, y el centro de mecanizado CNC está ocupado, indica que esa pieza va a estar en espera para el centro, por tanto la barrera se activa y el semáforo se pone en amarillo. No es hasta que el centro de mecanizado suelta en la cinta transportadora de salida la tapa procesada, que es detectada por el sensor SBT2, lo que le indica al control que el centro ya está disponible para procesar la siguiente pieza de materia prima, por tanto la barrera se abre y el semáforo se pone en verde, dejando pasar la próxima pieza de materia prima azul.

Este control se ha desarrollado para evitar lo máximo posible colapsos en el centro de mecanizado CNC, de este modo se puede controlar el flujo de materia prima que va entrando en el centro.

En la Figura 21 se puede ver el diagrama GRAFCET de la Línea Azul Tapas: Barrera y Semáforo.

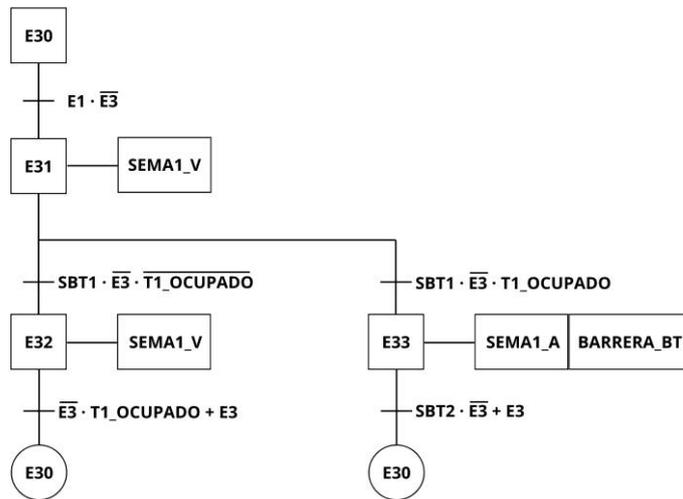


Figura 21. Diagrama GRAFCET de Línea Azul Tapas: Barrera y Semáforo

- **Diagrama GRAFCET de Línea Azul Bases: Barrera y Semáforo**

El funcionamiento de este diagrama GRAFCET es muy similar al empleado en el diagrama anterior. En este caso, los sensores fotosensibles utilizados son SBB1 y SBB2, y los actuadores se les denomina BARRERA_BB y SEMA2, que corresponden a la barrera y el semáforo respectivamente. En la Figura 22 se muestra el diagrama GRAFCET.

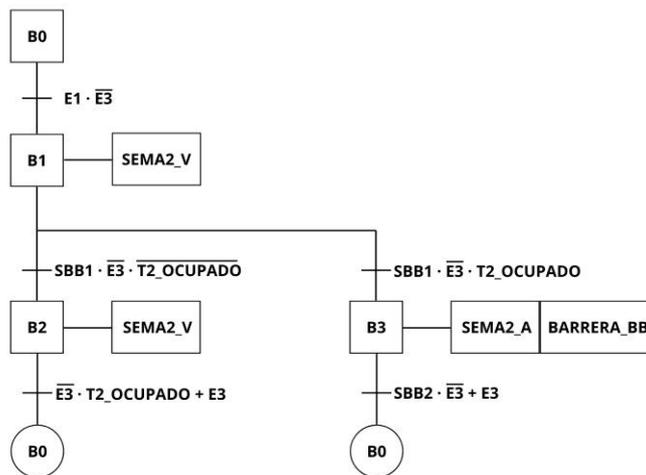


Figura 22. Diagrama GRAFCET de Línea Azul Bases: Barrera y Semáforo

- **Diagrama GRAFCET de Ensambladora Azul**

Este diagrama se encarga del funcionamiento del robot de ensamblaje (o ensambladora, como se le denomina en el trabajo) de la Línea Azul. Su control se ha desarrollado mediante la activación de los 3 ejes disponibles que tiene el robot de ensamblaje (ENAZ_X, ENAZ_Z y ENAZ_ROTA) y el uso de dos sensores fotosensibles, SEBB y SEBT.

El robot cuando opera en el modo de funcionamiento normal o START, se ejecutará el ciclo de ensamblaje cuando los sensores SEBB y SEBT detecten, es decir, cuando en las cintas de entrada a la estación de ensamblaje haya una tapa y una base en espera de ser ensambladas. Esto también quiere indicar que, si tan solo existe una tapa en espera, o una base, la operación de ensamblaje no se ejecutará. Una vez se realiza un ciclo completo de ensamblaje, el robot se queda en espera hasta que vuelvan a haber una tapa y una base disponibles para ser ensambladas.

El ciclo de ensamblaje se realiza mediante diferentes temporizadores, que marcarán el tiempo en el que el robot estará en una posición y cuando debe pasar a la siguiente.

En la se Figura 25 muestra el diagrama GRAFCET de la Ensambladora Azul.

- **Diagrama GRAFCET de Control Cintas Ensambladora Azul**

En este diagrama se realiza el control de la cintas de entrada de tapas y bases a la estación de ensamblaje. Este control se ha realizado para evitar fallos en la operación de ensamblaje del robot, ya que esta operación requiere mucha precisión para que el robot pueda ensamblar las piezas correctamente. Este diagrama se encarga de detener el motor de las cintas transportadoras cuando los sensores SEBB y SEBT, mencionados en el diagrama anterior, detecten que hay una tapa o base en espera de ser ensamblada.

En la Figura 25 se muestra el diagrama GRAFCET de Control Cintas Ensambladora Azul.

- **Diagrama GRAFCET de Control Reset Ensambladora Azul**

Este diagrama surge de la problemática que presentaba el robot de ensamblaje cuando se operaba en el modo de funcionamiento paro o en el modo de paro de emergencia. Cuando el control entraba en estos modos, el robot respondía correctamente, siguiendo con su secuencia de ensamblaje en el caso del modo paro, o deteniéndose inmediatamente en el modo paro de emergencia. No obstante, cuando se reestablecía la línea y se volvía a operar en el modo normal o START, el robot no volvía a una posición inicial, si no que iniciaba el ciclo de ensamblaje desde la posición en la que se había quedado al entrar en los otros modos de funcionamiento.

Para solucionar este problema, se hizo uso de un temporizador y un sensor fotosensible (SE1) instalado en el cuerpo del robot, en la zona donde se quería que se estableciera la posición inicial, de modo que el sensor solo detectase el brazo del robot únicamente desde esa posición.

De esta forma, cuando se operara fuera del modo de funcionamiento normal o START, y se reestableciera la línea pulsando el botón RESET, si el sensor SE1 no estaba detectando el brazo del robot, se ordenaba al robot a rotar el brazo hasta que el sensor SE1 lo detectara, indicando así que ya se encontraba en su posición inicial.

En la Figura 25 se muestra el diagrama GRAFCET de Control Reset
Ensambladora Azul.

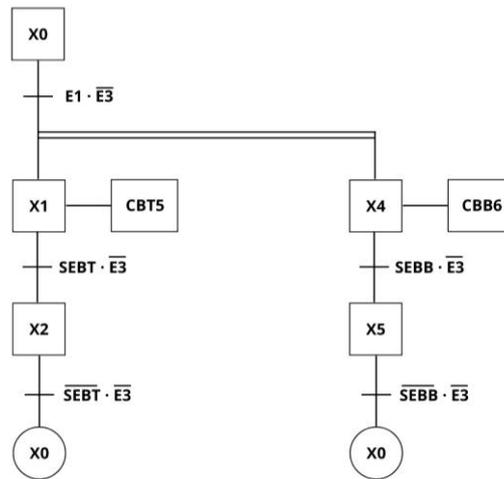


Figura 24. Diagrama GRAFCET de Control Cintas Ensambladora Azul

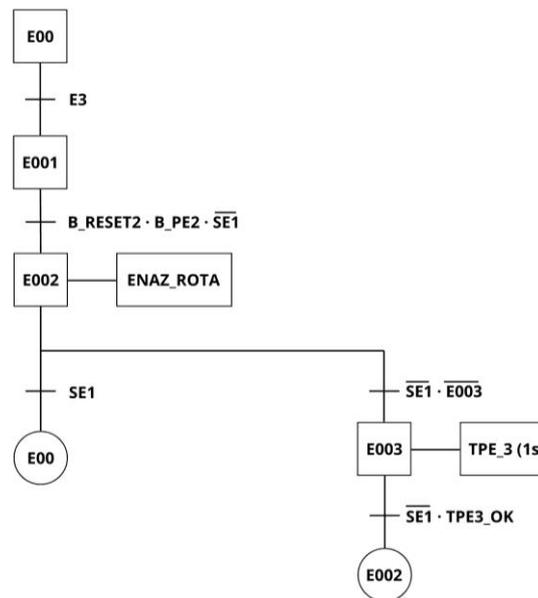


Figura 23. Diagrama GRAFCET de Control Reset Ensambladora Azul

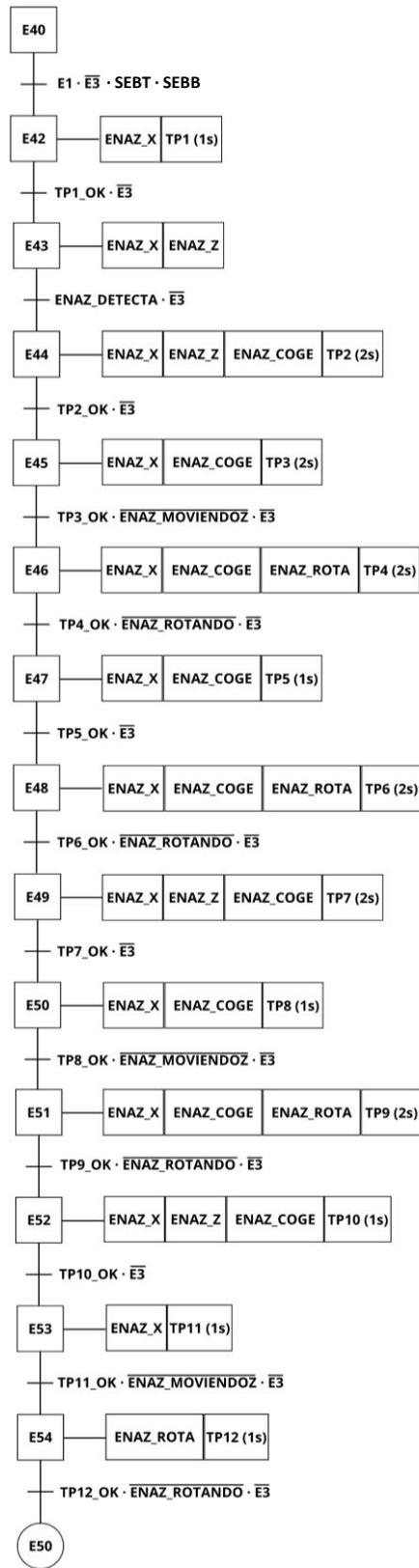


Figura 25. Diagrama GRAFCET de Ensambladora Azul

- **Diagrama GRAFCET de Control Final Azul**

Por último, este diagrama se encarga de la secuencia de control de la transportadora de rodillos final de la Línea Azul, Línea Final Azul. Se ubica en la salida de la estación de ensamblaje, y transporta las cajas, emitidas con otro emisor de elementos (EMITTER_BOX), donde se depositan los productos ensamblados. El control utiliza dos sensores fotosensibles (SECA y SFIN) y un contador. El diagrama se ha desarrollado para que el motor de la transportadora de rodillos se active cuando en la caja hayan almacenados tres productos ensamblados, esto es posible con el sensor SECA. Esa cuenta se realiza mediante un contador, que además de indicarle al control cuantos productos hay en la caja, también cuenta el número de productos que han sido ensamblados, y se refleja en unos *displays* que se encuentran en el cuadro de mando.

Cabe indicar que para evitar fallos en el funcionamiento del sistema, se determinó que el sensor SECA debía detectar que un producto había sido depositado en la caja por el robot de ensamblaje cuando el sensor dejara de detectar el brazo del robot, es decir, mediante un flanco negativo.

Finalmente, en la simulación de Factory IO se dispuso un recogedor de producto (FIN_1) para recoger las cajas con producto ensamblado. No obstante, también se utiliza una lógica similar como la explicada en el párrafo anterior. El motor de la transportadora de rodillos debería seguir activo hasta que la caja desapareciera por el recogedor de producto, y un sensor fotosensible (SFIN) dejara de detectar la caja (otro flanco negativo). Cuando se cumplen esas condiciones el control desactiva el motor de la transportadora y emite una nueva caja.

En la Figura 26 se muestra el diagrama GRAFCET de Control Final Azul.

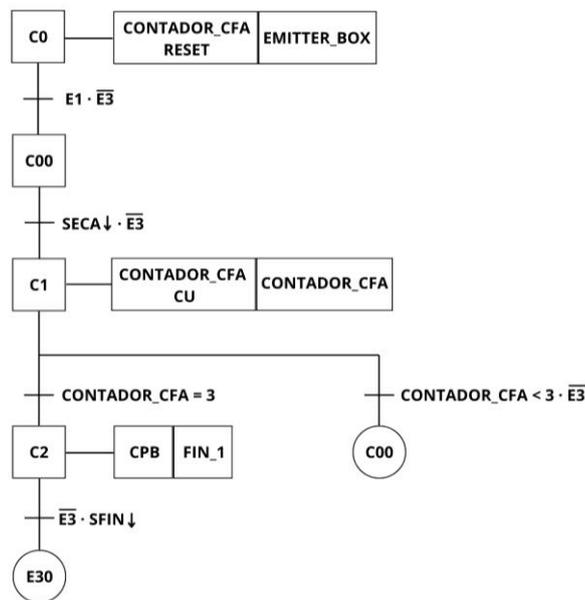


Figura 26. Diagrama GRAFCET de Control Final Azul

3.3.1.4 Configuración de los componentes del PLC

Los controladores SIMATIC S7-1200 son controladores lógicos programables, o más conocidos como PLC, son dispositivos compactos y modulares que se encargan del control y la automatización de los procesos que permiten el funcionamiento de la simulación de Factory IO, y sobre todo de la línea si fuera un proyecto real. Constan de un procesador, que ejecuta los programas que se instalen; una memoria, para almacenar el programa de control, así como los datos del proceso y otros datos; y por último un módulo de entradas y salidas, donde se conectan los sensores (entradas) y los actuadores (salidas), y pueden ser digitales o analógicas.

Los PLC son muy flexibles, ya que se pueden programar para realizar una amplia gama de tareas, además de ser de fácil uso, no hace falta tener mucha experiencia en programación para poder utilizarlos. También son muy confiables y robustos, siendo ideales para aplicaciones críticas, y tienen una buena relación entre precio y efectividad, ya que son relativamente económicos en comparación con otros sistemas de control. (Siemens, 2024)

Para desarrollar este trabajo se han utilizado direcciones de entradas y salidas reales, reservando únicamente el uso de la memoria del PLC para las etapas de los sistemas durante la programación. Los dispositivos que se han utilizado son la CPU 1214C AC/DC/RLY con 14 DI (entradas digitales), 10 DQ (salidas digitales), y 2 AI (salidas analógicas), con la versión 4.1. No obstante, conforme se ha ido desarrollando la simulación se iba requiriendo el uso de más salidas digitales, por el número de actuadores que se utilizan en la simulación, así como entradas digitales, por el número de sensores que se han usado. Por lo que se han utilizado 5 módulos de salidas digitales SM 1222 DC de 16 DQ, y 2 módulos de entradas digitales SM 1221 DC de 16 DI.

En las se muestran un ejemplo de los dispositivos utilizados.



Figura 28. CPU Siemens 1214C AC/DC/RLY



Figura 27. Módulo SM 1221 16DI



Figura 29. Módulo SM 1222 16DQ

3.3.1.5 Panel de operario

En la simulación de Factory IO se ha diseñado un panel de operario donde se encuentra el cuadro de mando, que permite interactuar con el modo de funcionamiento de la línea, como se ha explicado en apartados anteriores.

En la Figura 30 se muestra el panel de operario diseñado en Factory IO. El panel tiene diferentes tipos de botones y dos pantallas o “displays”. Entre los botones se encuentra un pulsador con led verde denominado B_START2, con el que si se pulsa la línea opera en el modo de funcionamiento normal o START; un pulsador con led rojo denominado B_STOP2, este es un pulsador configurado como NC (normalmente cerrado), si se pulsa la línea opera en el modo de funcionamiento paro o STOP; un pulsador con led amarillo denominado B_RESET2, con el que se reestablece el modo de funcionamiento cuando se entra en el modo paro o modo paro de emergencia; un interruptor de emergencia denominado B_PE2, con el que se ordena a al control de la línea a operar en el modo de paro de emergencia, para reestablecer el modo de funcionamiento sería necesario desenroscar el interruptor y pulsar el pulsador B_RESET 2. El panel también presenta dos pantallas, denominadas CFA y CFM, que corresponden a los contadores que hay programados en la Línea Final Azul y Línea Final Metal, y cuentan el número de productos que se han ensamblado.



Figura 30. Panel de operario diseñado en Factory IO

3.3.1.6 Propuesta de HMI

Para este trabajo también se ha diseñado y desarrollado un panel HMI (en sus siglas en inglés “*Human-Machine Interface*”). Con él se ideó que se pudiera interactuar con la línea y verificar su estado, por lo que se propusieron una serie de requisitos que cumplir para el funcionamiento del HMI. Las funciones que se han desarrollado para el HMI serían poder interactuar con la línea igual que haría un operario en el panel de operario cambiando el modo de funcionamiento, poder determinar si la línea está produciendo correctamente observando que actuadores están funcionando en cada tramo de las líneas, poder ver que sensores están detectando, verificar el estado de los centros de mecanizado CNC, el estado de los robots de ensamblaje y revisar la cuenta de productos ensamblados.

Para ello se han diseñado y desarrollado un amplio número de pantallas, para poder proporcionar la información necesaria para cumplir con los requisitos mencionados. Además se ha diseñado un menú para poder organizar todas las pantallas, así como un sistema de navegación para poder moverse entre pantallas de manera cómoda. Por último, se ha dispuesto

también de una pantalla de inicio de sesión, para simular en la aplicación real de la línea la existencia de diferentes usuarios designados a los operarios y demás trabajadores. El HMI se ha desarrollado mediante el software de TIA Portal, y se ha propuesto utilizar una pantalla KTP700 Basic PN.

En las siguientes figuras se muestran las pantallas más relevantes diseñadas del HMI. En la Figura 31, y Figura 32 se puede observar el menú del HMI, donde se puede acceder a los diferentes tramos de las líneas, a las diferentes estaciones y al control de mando. En la Figura 33 se muestra el control de mando de la línea, en el que se han dispuesto los mismos botones que en el panel de operario simulado en Factory IO.

En la Figura 34 se puede observar el estado de la línea metal tapas tramo 2, donde se puede verificar que sensores están detectando, que motores de cintas están funcionando, si la puerta de la cinta está abierta o cerrada, todo mediante los pilotos que se han ubicado al lado de las etiquetas de cada actuador y sensor. Además, los extremos de la cinta transportadora tienen unos botones con los que se puede acceder a los tramos colindantes a la línea en cuestión, así como, en la esquina inferior izquierda se han dispuesto unos botones con los que se puede acceder rápidamente al menú principal (Menú de pantallas), al control de mando (Control de Mando), y como la línea metal tapas tramo 2 colinda con un centro de mecanizado CNC, se ha dispuesto un botón para acceder a la pantalla de estado de los correspondientes centros de la línea (botón Tornos).

En la Figura 35 se muestra la pantalla de estado de los centros de mecanizado CNC de la Línea Azul. En ella se puede consultar en qué modo de funcionamiento están operando y si están procesando una pieza. También se ha dispuesto una pantalla para el control del centro de mecanizado, ya que en la simulación de Factory IO cada centro dispone de su cuadro de mando, pero en la programación de la línea se ha configurado para controlar los centros desde el panel de operario principal. En una aplicación real si que sería necesario controlar el modo de funcionamiento de los centros de mecanizado CNC con su respectivo cuadro de mando, y esta sería su pantalla correspondiente en el HMI (ver Figura 36).

Por último, en la Figura 37 se muestra la pantalla de estado de uno de los robots de ensamblaje, en concreto la Ensambladora Azul. Con esta pantalla se puede consultar que actuadores están funcionando si se está realizando un ciclo de ensamblaje, ver si hay tapas y bases en espera, y consultar el número de productos ensamblados que hay almacenados en la caja actual. También se dispone de un botón de contadores, que te muestra una pantalla donde hay dos contadores que cuentan el número de productos ensamblados (ver Figura 38).

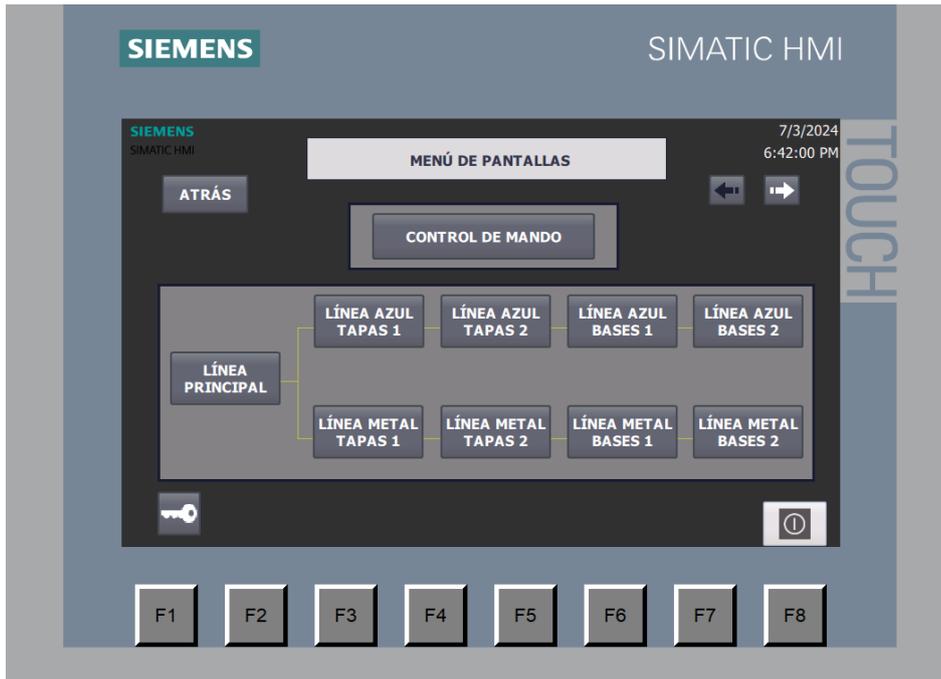


Figura 31. Pantalla de menú 1 en el HMI

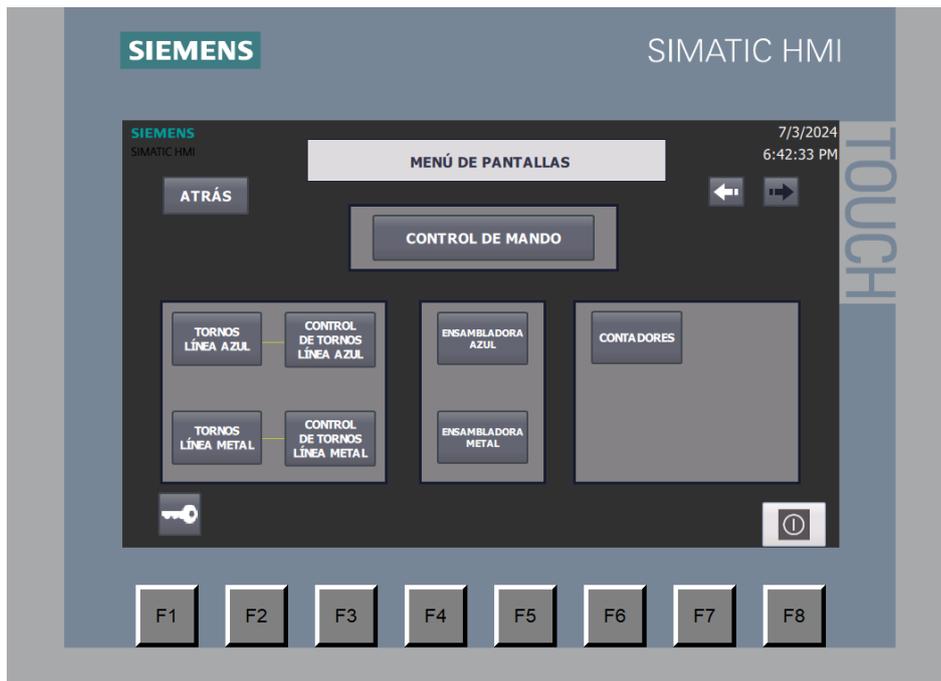


Figura 32. Pantalla de menú 2 en el HMI

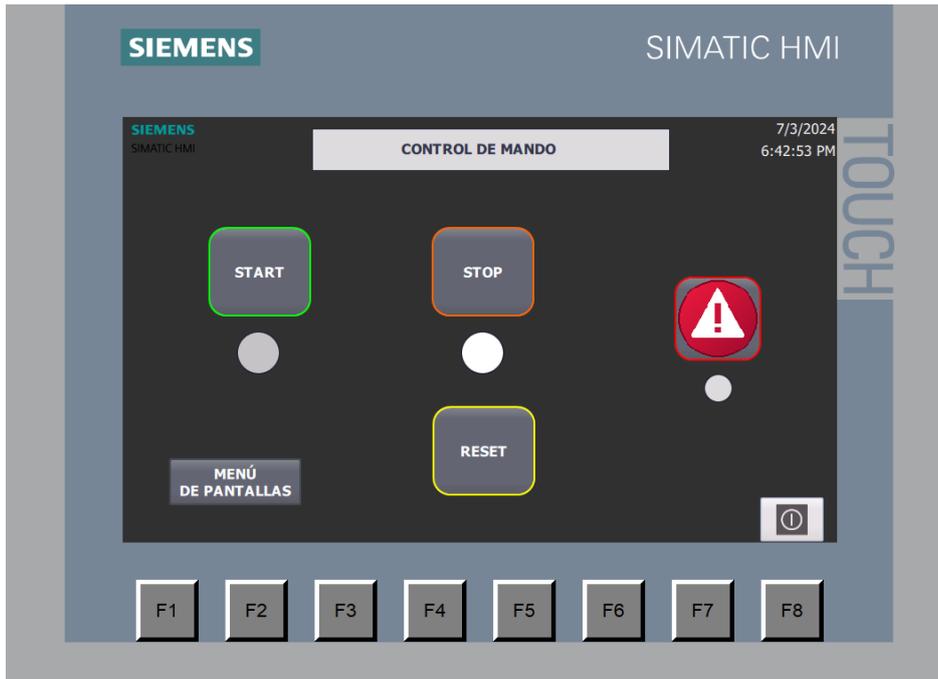


Figura 33. Pantalla de control de mando en HMI

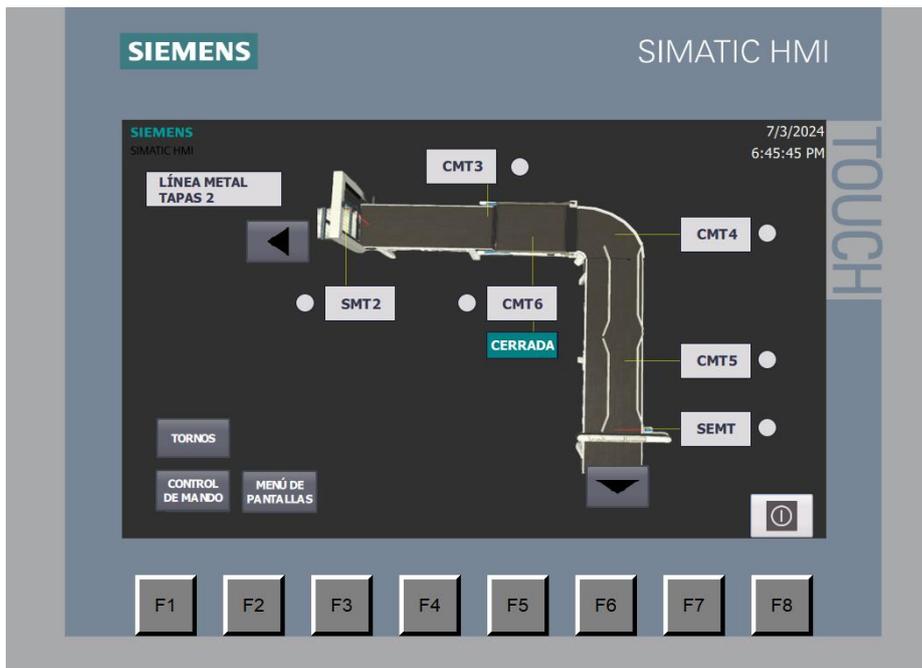


Figura 34. Pantalla de Línea Metal Tapas 2 en HMI

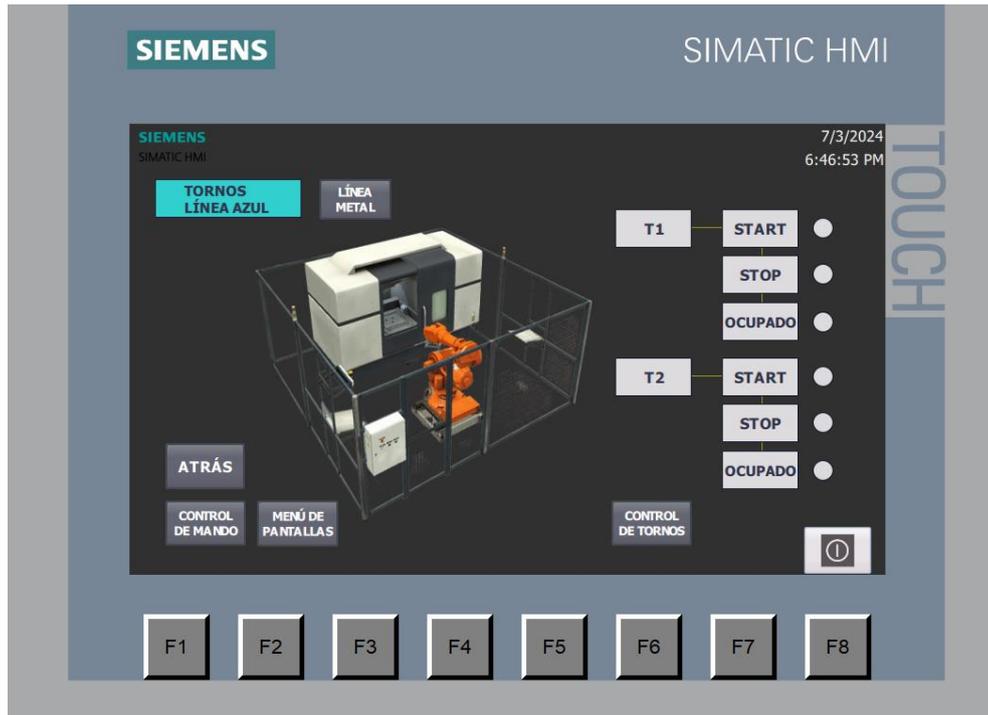


Figura 35. Pantalla de centro de mecanizado CNC de Línea Azul en HMI

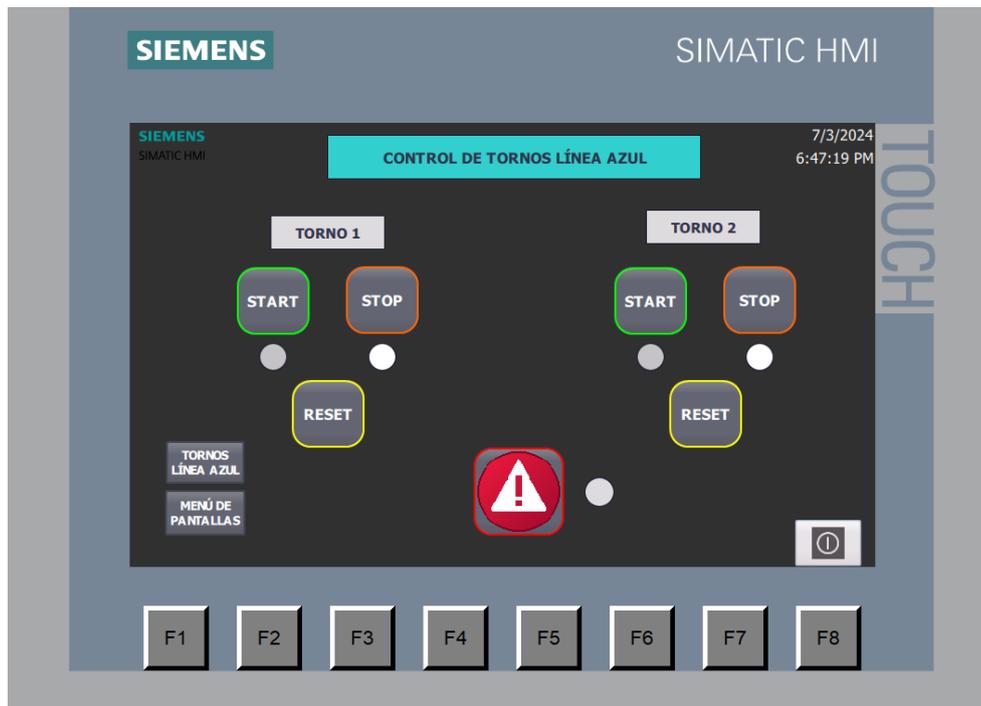


Figura 36. Pantalla de control de centro de mecanizado CNC de Línea Azul en HMI

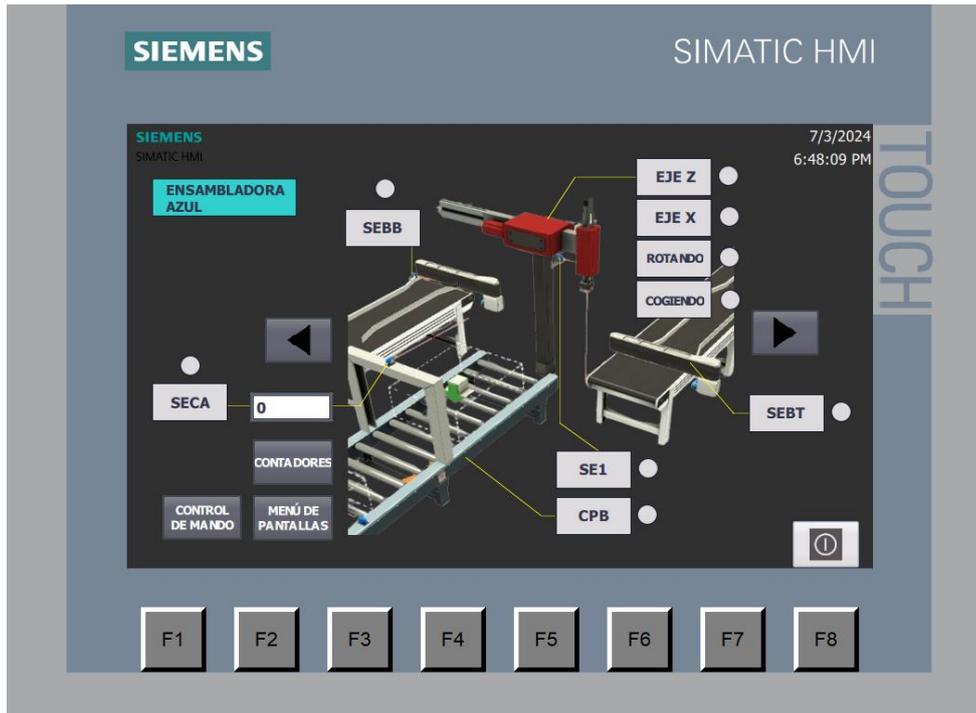


Figura 37. Pantalla de robot de ensamblaje azul en HMI

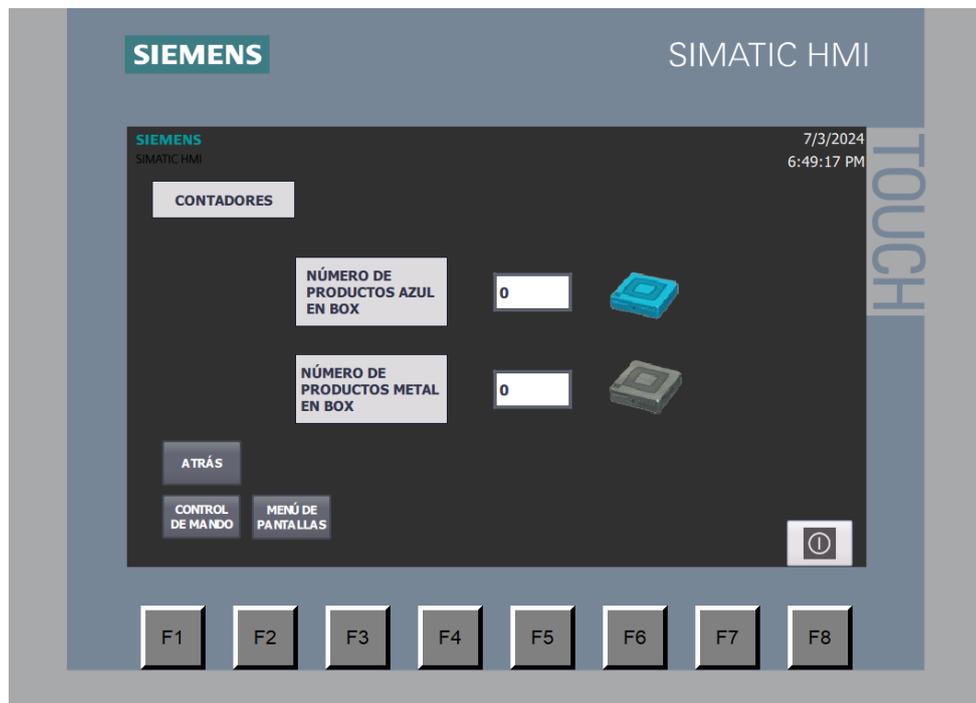


Figura 38. Pantalla de contadores en HMI

Para más información, en el Anexo C se pueden consultar todas las pantallas diseñadas para el HMI.

3.3.1.7 Comunicaciones

En la Figura 39. Esquema de comunicaciones. Figura 39 se muestra un esquema de las comunicaciones que se utilizan entre el PLC, Factory IO y el HMI.

Para la simulación de la línea se utilizan los diferentes dispositivos que se han explicado en el apartado 3.3.1.4, todos ellos del mismo fabricante SIEMENS. Por tanto, se ha propuesto utilizar el software de simulación PLCSIM que está dentro del grupo de software de SIMATIC STEP 7 de SIEMENS. Para poder simular el PLC con el software de simulación PLCSIM se ha utilizado la comunicación directa S7 (o S7 Communication), que funciona con el protocolo de comunicación TCP/IP. Es la forma más directa de conectar un PLC SIEMENS simulado en PLCSIM con Factory IO, además de ser muy fácil de configurar y ofrecer un alto rendimiento. El único inconveniente que presenta es que está limitada a dispositivos SIEMENS.

Para la comunicación entre el PLC y la pantalla HMI se ha propuesto utilizar la comunicación PROFINET también mediante el software de simulación PLCSIM. Es una opción muy común y buena debido a su robustez y comunicación rápida, además de estar basada en el protocolo Ethernet.

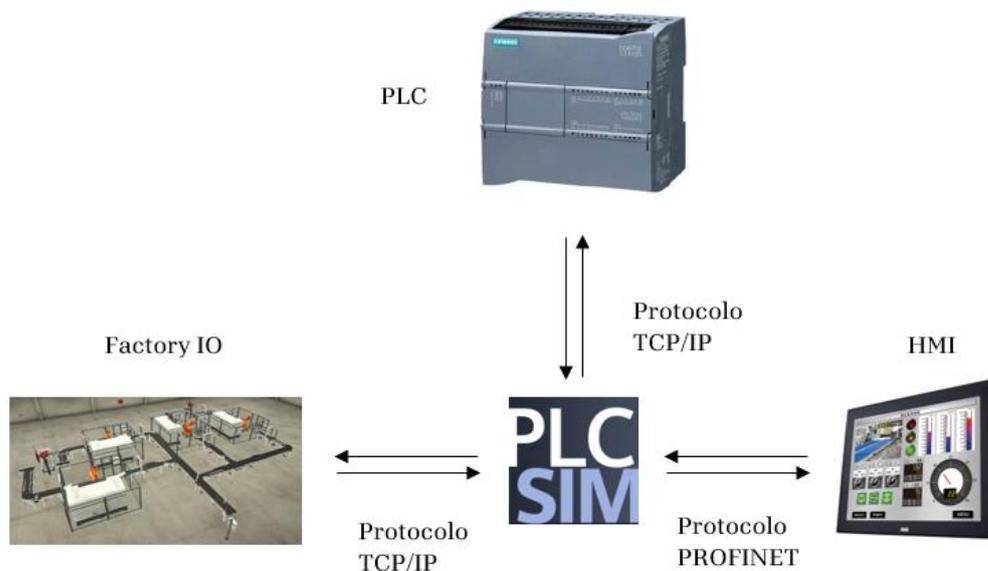


Figura 39. Esquema de comunicaciones

3.3.1.8 Normativa aplicable

AENOR. Lenguaje de especificación GRAFCET para diagramas funcionales en secuencia. UNE-EN 60848:2022 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024).

AENOR. Seguridad para sistemas de control y automatización industrial. Parte 1-5: Esquema para perfiles de seguridad IEC 62443. UNE-EN 62443:2024. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024).

AENOR. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. UNE-EN ISO 12100:2012. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño. UNE-EN 13850:2016. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando relativos a la seguridad. UNE- EN IEC 62061:2021. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. UNE-EN 60204-1:2019 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Seguridad de las máquinas. Señales visuales de peligro. Requisitos generales, diseño y ensayos. UNE-EN 842:1997+A1:2008. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Seguridad de las máquinas. Sistemas de señales de peligro y de información auditivas y visuales. UNE-EN 981:1997+A1:2008. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Autómatas programables. Parte 3: Lenguajes de programación. UNE-EN 61131- 3:2013 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2023)

AENOR. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-52: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones. UNE-HD 60364-5-52:2022. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. UNE-EN ISO 10218-2:2021. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

AENOR. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. UNE-EN ISO 10218-1:2012. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024)

Reglamento electrotécnico de baja tensión. (BOE, 2024)

3.4 Cálculos y dimensionamiento eléctrico

En el siguiente apartado se van a mostrar los cálculos realizados para dimensionar la línea de mecanizado y ensamblaje, siguiendo normativa establecida por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (BOE, 2024).

En primer lugar se realizarán los cálculos de los conductores para las cargas alimentadas por corriente alterna junto con los resultados obtenidos, y posteriormente se mostrará el método utilizado para realizar el cálculo de los conductores de las cargas alimentadas por corriente continua, también junto con los resultados que se han obtenido.

3.4.1 Previsión de cargas

En la Tabla E.1 del Anexo E se puede consultar los resultados obtenidos para la previsión de cargas de la línea. Allí se estima la cantidad de potencia que va a requerir el funcionamiento de la línea en una proyección real.

Según el ITC-BT-10 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (BOE, 2024), el edificio donde se proyectaría la línea estaría clasificado como un edificio destinado a concentración de industrias, donde se estipula que la potencia mínima contratada por metro cuadrado y planta debe ser de 125W/m^2 , con un mínimo por local de 10350 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

3.4.2 Cálculo de secciones por capacidad térmica de cargas AC

Para calcular la sección de los conductores por capacidad térmica, de las cargas alimentadas por corriente alterna, se tiene en cuenta la ITC-BT-19, que sigue la norma UNE-HD 60364-5-52. En ellas se indican que la intensidad máxima, denominada como I_B , que circule por los conductores no puede superar la intensidad máxima admisible, siendo esta I_Z . Además, la intensidad máxima del conductor (I_B) no debe superar la intensidad nominal (I_N) del interruptor automático (PIA), por lo que con ambas condiciones, el conductor debe cumplir que $I_B \leq I_N \leq I_Z$.

La intensidad máxima (I_B), se puede calcular con las siguientes expresiones, dependiendo de si se trata de una línea monofásica (5) o trifásica (6):

$$I_B = \frac{P_{\text{cálculo}}}{V \cdot \cos \varphi} \quad (5)$$

$$I_B = \frac{P_{\text{cálculo}}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} \quad (6)$$

Donde I_B corresponde a la intensidad máxima del conductor (A); $P_{\text{cálculo}}$ corresponde a la potencia de cálculo (W); V es la tensión de línea (V) y por último $\cos \varphi$ corresponde al factor de potencia.

Una vez calculada la intensidad máxima (I_B), se debe consultar la tabla de calibres de los interruptores automáticos (PIAs) y seleccionar la intensidad nominal que cumpla $I_B \leq I_N$. Posteriormente, se debe consultar la tabla de intensidades máximas admisibles (I_Z) (Tabla A en el ITC-BT-19) para determinar la corriente que cumpla $I_B \leq I_N \leq I_Z$, y con ella se obtendría la sección del conductor que cumple con la referida condición.

La Tabla E.2 del Anexo E se pueden consultar las secciones obtenidas con el método de cálculo por capacidad térmica explicado anteriormente.

3.4.3 Cálculo de secciones por caída de tensión de cargas AC

Para realizar este cálculo, la ITC-BT-19 indica que la sección de los conductores debe cumplir que la caída de tensión que se produzca en los conductores entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización sea menor del 5%. Además, este cálculo se realizará teniendo en cuenta que todos los aparatos susceptibles a funcionar simultáneamente están alimentados.

En primer lugar, se necesita determinar la temperatura real estimada que va a presentar el conductor, denominada T . Este parámetro se puede obtener con la expresión siguiente:

$$T = T_o + (T_{\text{máx}} - T_o) \cdot \left(\frac{I_B}{I_Z}\right)^2 \quad (7)$$

Donde T es la temperatura real estimada del conductor ($^{\circ}\text{C}$); T_o es la temperatura ambiente del conductor ($^{\circ}\text{C}$); $T_{\text{máx}}$ es la temperatura máxima admisible para el conductor según su tipo de aislamiento ($^{\circ}\text{C}$); I_B es la intensidad máxima o prevista del conductor (A) y I_Z la intensidad máxima admisible del conductor (A).

Una vez se obtiene la temperatura real estimada del conductor (T), se procede a calcular la conductividad del conductor a temperatura real, denominada C_T . Este parámetro se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$C_T = \frac{C_{20^{\circ}C}}{1 + \alpha \cdot (T - 20)} \quad (8)$$

Donde C_T corresponde a la conductividad del conductor a temperatura real ($m/\Omega mm^2$); $C_{20^{\circ}C}$ es la conductividad del conductor a $20^{\circ}C$ ($m/\Omega mm^2$); α es el coeficiente de variación con la temperatura de la resistencia a $20^{\circ}C$; y T es la temperatura real estimada calculada en la expresión (7).

Una vez se han obtenido la temperatura real estimada (T) y la conductividad a temperatura real (C_T) del conductor se puede determinar la caída de tensión del conductor. Como todas las secciones obtenidas en el cálculo por capacidad térmica son menores a $120 mm^2$, se pueden utilizar estas las siguientes expresiones, según si la línea es monofásica (9) o trifásica (10):

$$\%V = \frac{200 \cdot P_{cálculo} \cdot l}{C_T \cdot S \cdot V^2} \quad (9)$$

$$\%V = \frac{100 \cdot P_{cálculo} \cdot l}{C_T \cdot S \cdot V^2} \quad (10)$$

Donde $\%V$ es la caída de tensión de la línea (%); $P_{cálculo}$ es la potencia de cálculo (W); l es la longitud de la línea (m); C_T es la conductividad del conductor a temperatura real ($m/\Omega mm^2$); S es la sección del conductor (mm^2); y V es la tensión de la línea (V).

El resultado obtenido se debe comprobar que cumpla con la condición que establece la ITC-BT-19, la caída de tensión obtenida debe ser menor o igual al 5%. En la Tabla E.3 del Anexo E se pueden consultar los resultados obtenidos para el método de cálculo por caída de tensión.

3.4.4 Cálculo de corrientes de cortocircuito y selección de protecciones

3.4.4.1 Cálculo de corrientes de cortocircuito

En la instrucción ITC-BT-22, en lo relativo a protección contra sobreintensidades, se indica que todo circuito estará protegido contra los efectos de las sobreintensidades que puedan presentarse en el mismo, para la cual la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente o estará dimensionado para las sobreintensidades previsibles.

En este cálculo se tendrán en cuenta las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas. Las cuales se pueden obtener con las siguientes expresiones, distinguiendo entre si se trata de un cortocircuito en un sistema monofásico (11), un sistema bifásico (12) o un sistema trifásico (13):

$$I_{CC} = \frac{400}{Z_F + Z_N} \quad (10)$$

$$I_{CC} = \frac{400}{2 \cdot Z_F} \quad (11)$$

$$I_{CC} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot Z_1} \quad (12)$$

Donde I_{CC} es la corriente de cortocircuito y Z_F y Z_1 es la impedancia de fase. Los resultados obtenidos se pueden consultar en la Tabla E.5, que corresponde a los resultados para la derivación individual, en la Tabla E.6 y E.7 corresponden a los valores de las corrientes para el resto de las líneas. Las tablas se encuentran en el Anexo E.

3.4.4.2 Selección de los dispositivos de protección

Según la instrucción ITC-BT-22, las características de funcionamiento de un fusible que protege un conductor contra sobrecargas deben satisfacer las dos condiciones siguientes:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (13)$$

$$I_F = 1,45 \cdot I_Z \quad (14)$$

Donde I_Z es la corriente que asegura la actuación del dispositivo de protección para un tiempo largo.

En cuanto a la protección contra cortocircuito, el fusible tiene que cumplir que la corriente de cortocircuito máxima ($I_{cc_{m\acute{a}x}}$) tiene que ser igual o menor al poder de corte (PdC) del fusible, es decir:

$$I_{cc_{m\acute{a}x}} \leq PdC \quad (15)$$

Además de:

$$I_{Fusión}(5s) = I_{CC_{mín}} \quad (16)$$

En cuanto a los interruptores magnetotérmicos (IA), se deben de cumplir las siguientes condiciones. En el caso de las protecciones contra sobrecargas, se debe cumplir la expresión (13), del mismo modo que los fusibles, y respecto a la protección contra cortocircuitos, se deben cumplir las condiciones mostradas en las expresiones (17) y (18):

$$I_{rm} \leq I_{CC_{mín}} \quad (17)$$

$$I_{CC_{máx}} = PdC \quad (18)$$

Para el caso del interruptor diferencial (ID), este debe cumplir las siguientes condiciones a la hora de su selección:

$$I_B \leq I_N \quad (19)$$

Y tener en cuenta la sensibilidad según el tipo de carga, siendo motores (20) o alumbrado y otros usos (21):

$$\Delta I_N = 30 \text{ mA} \quad (20)$$

$$\Delta I_N = 300 \text{ mA} \quad (21)$$

Por último, se debe realizar la comprobación de la sección del conductor frente a cortocircuitos, para así determinar finalmente si los dispositivos de protección seleccionados, los fusibles y los interruptores magnetotérmicos, serán capaces de cumplir su función ante un cortocircuito. Esta comprobación se realiza determinando si cumplen las siguientes condiciones, la expresión (22) y (23) están indicadas para los fusibles, y las (24) y (25) para los magnetotérmicos:

$$I_{adm}(5s) = \sqrt{\frac{K^2 \cdot S^2}{5}} \quad (22)$$

$$I_{adm}(5s) \geq I_{Fusión}(5s) \quad (23)$$

$$t \geq \frac{K^2 \cdot s^2}{I_{cc}^2} \quad (24)$$

$$t \cdot I_{cc}^2 \leq K^2 \cdot s^2 \quad (25)$$

Todos los resultados obtenidos de la selección de fusibles, interruptores magnetotérmicos y interruptores diferenciales, así como la comprobación de la sección por cortocircuito se pueden consultar en la Tabla E.8, la Tabla E.9, la Tabla E.10 y la Tabla E.11 del Anexo E.

3.4.5 Cálculo de la sección de los conductores de las cargas DC

Para el cálculo de las secciones de los conductores de las cargas alimentadas por corriente continua se ha utilizado un recurso digital, una aplicación móvil llamada Cálculos Eléctricos, cuyo autor es Ettore Gallina. Esta aplicación ofrece una amplia gama de recursos y cálculos eléctricos, entre ellos el cálculo del calibre de un conductor, que es el que se ha utilizado.

Para calcular la sección del conductor la aplicación requiere que se introduzca el valor de la tensión, la potencia de la carga, la longitud de la línea, la caída de tensión máxima que debe soportar, que tipo de instalación se trata y la temperatura ambiente. Además también se pueden elegir parámetros como el material del conductor y del aislamiento.

Una vez introducidos los parámetros la aplicación calcula y muestra que sección (S) debe tener el conductor con los parámetros introducidos, la intensidad máxima (I_B) y la caída de tensión (%V), entre otros datos.

En la Figura 40 se muestran capturas de pantalla de la aplicación móvil donde se pueden ver los ítems para introducir los parámetros explicados, finalmente la aplicación devuelve los resultados obtenidos.

En la Tabla E.12 del Anexo E se pueden consultar los resultados obtenidos de las secciones de los conductores calculadas mediante la aplicación móvil Cálculos Eléctricos.

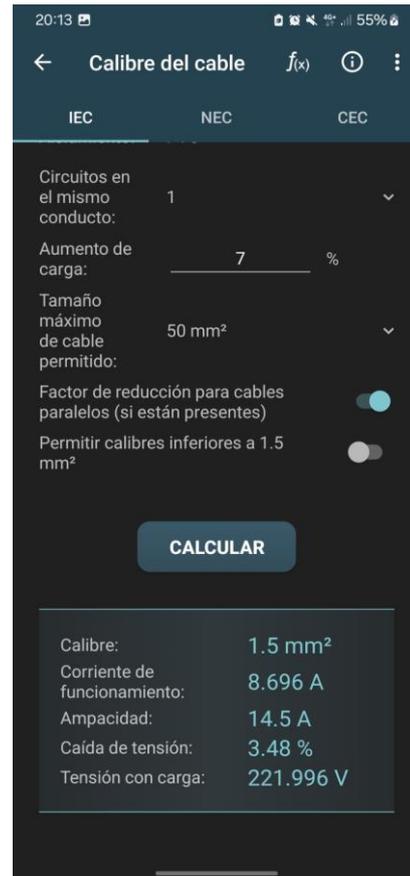
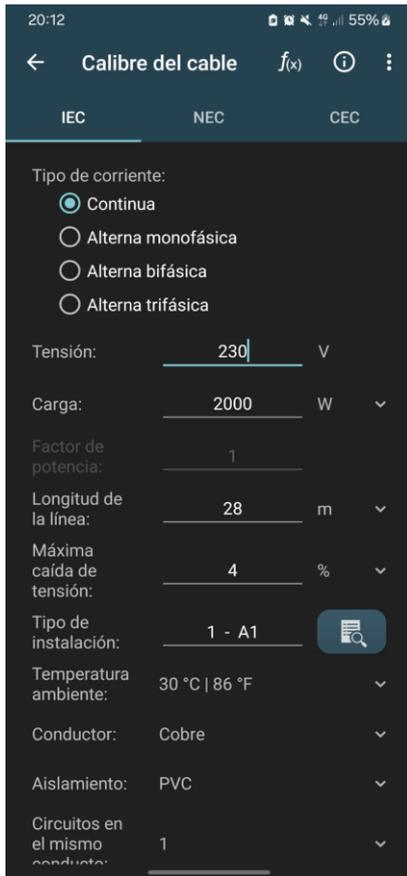


Figura 40. Vistas de la aplicación móvil Cálculos Eléctricos.

4 Resultados

En este capítulo se va a explicar el funcionamiento de la línea de mecanizado y ensamblaje desarrollada y simulada con el software Factory IO. Se ha realizado un video demostrativo del comportamiento de la línea, que se enfoca en su operación mediante el panel de operario mostrado en el apartado 3.3.1.5 y como responde la línea según el modo de funcionamiento seleccionado. Además, se mostrará también en el mismo desarrollo su funcionamiento mediante la interfaz humano máquina (HMI) desarrollada y mostrada en el apartado 3.3.1.6, donde se observará la información que proporciona la interfaz frente a lo que está ocurriendo en la planta.

En el enlace <https://media.upv.es/player/?id=a72f6620-4b6b-11ef-8e20-3d2054c597b6> se puede acceder al video demostrativo de la simulación, además durante el desarrollo del capítulo desde la Figura 42 a la Figura 53 mostrarán capturas del referido video.

Cabe indicar que en el capítulo se va a omitir el comportamiento del funcionamiento de la Línea Metal, ya que es una extrapolación de la Línea Azul. Para más información, el video demostrativo muestra el funcionamiento de la planta al completo.

4.1 Modo de funcionamiento normal o START

En primer lugar, el operario se posicionará frente al panel de operario, donde encontrará tres botones led encendidos, como muestra la Figura 42, uno verde (B_START2), uno naranja (B_STOP2) y uno blanco (B_RESET2), además de un interruptor de emergencia (B_PE2) y abajo un led azul (LPE), y dos pantallas que corresponden a la cuenta de productos ensamblados almacenados (CFA y CFM).

El operario deberá pulsar el pulsador led verde para ordenar a la línea operar en el modo de funcionamiento normal o START. Una vez se pulse solo quedará el pulsador led verde encendido, indicando que la línea está operando en el modo normal o START. Acto seguido de haber pulsado el botón, el emisor de materia prima (EMITTER) se activará, además de todos los motores de las cintas transportadoras, clasificadores, centros de mecanizado y los robots de ensamblaje. El emisor (EMITTER) emitirá materia prima metal y azul aleatoriamente. La materia prima será transportada por la cinta transportadora de la línea principal. En esta línea está instalado el sensor inductivo (S1), una vez una pieza de metal pase por delante del sensor, se

activará el motor del clasificador de brazo con cinta (BRAZO1), como se puede observar en la Figura 42, cortándole el paso hacia la línea azul y dándole paso a la línea metal. La pieza será redirigida hacia la línea metal, donde se encontrará con un sensor fotosensible (S2), el cual cuando detecte la pieza desactivará el motor del clasificador de brazo con cinta (BRAZO1). En el momento en el que el emisor (EMITTER) emita una pieza azul (no metálica), el sensor inductivo (S1) no la detectará, por tanto el clasificador de brazo (BRAZO1) no se activará.

En la Figura 41 se puede ver el control de mando de la planta con el pulsador START accionado,



Figura 42. Secuencia de inicio del modo normal y la clasificación de piezas metálicas.



Figura 41. Vista del control de mando con el modo normal seleccionado y la pantalla de Línea Principal en el HMI.

indicando que el modo de funcionamiento que está operando es el modo normal o START, y a su derecha se puede ver la pantalla de Línea Principal, donde muestra los motores de cintas transportadores activos, como el sensor inductivo (S1) está detectando y el motor del clasificador del brazo (BRAZO1) está activo, indicando que la pieza que está circulando es metálica.

En cuanto una pieza azul entra en la Línea Azul, la pieza se encontrará con un sensor fotosensible (SB), el cual cuando detecte la pieza, si no hay ninguna en la sublínea tapas, ordenará al clasificador de ruedas emergentes 1 (RUEDAS1) que cambien su sentido para redirigir esa pieza hacia la sublínea de tapas (Línea Azul Tapas), tal y como muestra la Figura 43 en la imagen de la derecha. Esta lógica se consigue mediante un contador, cuando el sensor SB detecta, la cuenta está a 0, lo que activa el giro de las ruedas y el contador suma 1. Una vez se haya reconducido hacia la sublínea de tapas, cuando el sensor fotosensible (SB) detecte una nueva pieza, le indicará al clasificador con ruedas (RUEDAS1) que cambie el sentido de las ruedas, para que la pieza sea dirigida a la sublínea de bases (Línea Azul Bases), como se puede observar en Figura 43 en la imagen de la izquierda.

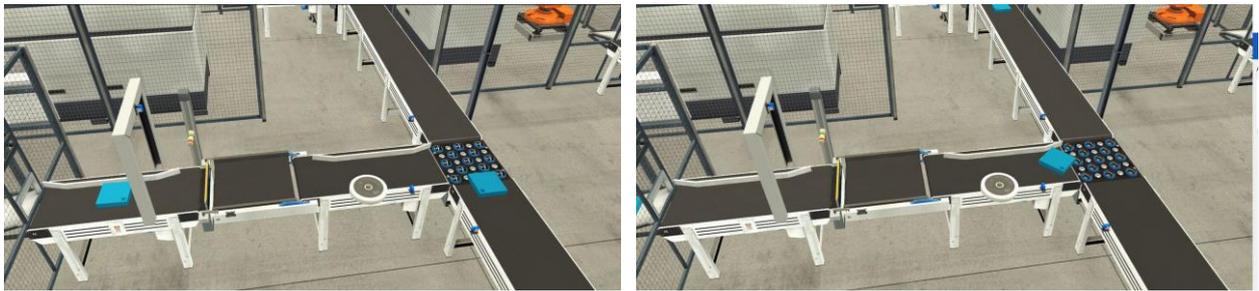


Figura 43. Secuencia de clasificación de materia prima azul.

Es decir, cuando el sensor SB vuelve a detectar una pieza, como la cuenta en el contador está en 1, no se activa el giro de las ruedas, permitiendo a la pieza dirigirse a la sublínea de bases, y se resetea la cuenta.

Además, en la Figura 43 también se puede observar que la barrera está activada y el semáforo ha cambiado su color a amarillo, indicando que en el centro de mecanizado ya ha entrado una pieza azul para ser mecanizada en tapa, y ya hay otra pieza azul esperando a ser mecanizada.

En la Figura 44 se puede ver como la pantalla de la Línea Azul Tapas 1 muestra, igual que en las pantallas vistas anteriormente, las cintas transportadoras que están activas, y los sensores que están detectando en ese mismo instante en el que se hizo la captura. Como se puede observar, a la derecha del clasificador de ruedas emergente (RUEDAS1) se indica si las ruedas están direccionando las piezas a la sublínea tapas o a la sublínea bases, en ese instante el sentido iba hacia la sublínea tapas, como se muestra en la imagen de la Figura 44. A la derecha se puede ver como mostraría la etiqueta si las ruedas estuvieran en el sentido de la sublínea bases. También se puede observar que muestra si la barrera (BARRERA_BT) está activa y el color del semáforo (SEMA1), en ese instante no estaba activa la barrera, por tanto el semáforo muestra el color verde. Por último también muestra el estado de la puerta de cinta transportadora (CBTG) esta abierta o cerrada, se mostrará con más detalle en el modo de funcionamiento paro de emergencia.



Figura 44. Pantalla de la Línea Azul Tapas 1 en el HMI,

Una vez la pieza azul pasa el control de la barrera en la sublínea tapas o en la sublínea bases, ya que siguen la misma lógica, entran en el centro de mecanizado CNC. En el centro un robot colaborativo recoge la pieza a mecanizar y la introduce en la máquina de mecanizado CNC, como se puede observar en la Figura 45 en las imágenes de la izquierda y la derecha, y dependiendo de si la pieza se encuentra en la sublínea tapas o en la sublínea bases, la máquina de mecanizado CNC producirá una tapa o una base. En ese instante un sensor interno de la máquina indicará que esta está ocupada, esa información la utilizará la barrera de la correspondiente sublínea para activarse si existe una pieza azul en espera para ser mecanizada. Una vez mecanizada la tapa o la base, el robot colaborativo la recoge del interior de la máquina de mecanizado CNC y la suelta en la rampa de salida, como se puede ver en la imagen central de Figura 45.

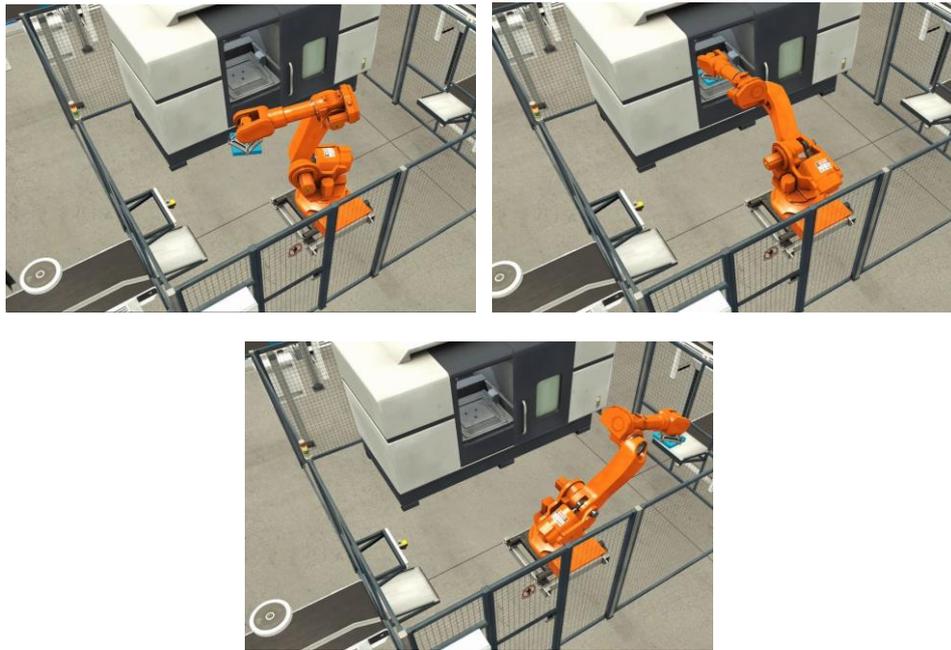


Figura 45. Secuencia de mecanizado de piezas en el centro de mecanizado CNC.

En la

Figura 46, la imagen de la izquierda se muestra como las pantallas de Torno 1 indican el modo de funcionamiento en el que están operando, en este caso en el modo normal o START, y que máquinas están funcionando de las dos que existen en la Línea Azul, y hay en cada línea.

Una vez la tapa o la base baja por la rampa de salida del centro de mecanizado CNC son dirigidas hacia el centro de ensamblaje. Cuando la tapa o la base llegan al final de la cinta transportadora, un sensor fotosensible (SEBT para las tapas y SEBB para las bases) la detecta y detiene el motor de la cinta transportadora, para que cuando se inicie el ciclo de ensamblaje el robot de ensamblaje (Ensambladora Azul) pueda coger la tapa con precisión. En cuanto haya una tapa y una base siendo detectadas por los sensores fotosensibles (SEBT y SEBB), el robot de ensamblaje iniciara el ciclo de ensamblaje.

El robot de ensamblaje extiende su brazo por eje X (ENAZ_X) hasta el final, a continuación se extiende su antebrazo por el eje Z (ENAZ_Z) hasta detectar la tapa, que acto seguido la coge (ENAZ_COGE), como se muestra en la Figura 47, en la imagen superior izquierda. Con la tapa cogida retrae su antebrazo, y rota su cuerpo en su propio eje hasta posicionar el brazo extendido sobre la cinta transportadora donde se encuentra la base en espera. A continuación extiende su antebrazo por el eje Z para ensamblar la tapa con la base, como se muestra en la Figura 47, en la imagen superior derecha. Con el producto ensamblado, vuelve a retraer su antebrazo en el eje Z y a rotar su cuerpo en su propio eje, para posicionarse sobre la transportadora de rodillos (Cinta Final Azul), como se muestra en la Figura 47, en la imagen inferior izquierda. A continuación extiende su antebrazo en el eje Z y suelta el producto ensamblado, que cae en el interior de una caja. Acto seguido retrae su antebrazo en el eje Z y

vuelve a rotar su cuerpo sobre su propio eje para volver a la posición inicial, como se muestra en la Figura 47, en la imagen inferior derecha.

En cuanto al HMI, en la

Figura 46 en la imagen de la derecha, se muestra la información que proporciona la pantalla de Ensambladora Azul. En ella se puede observar si hay un ciclo de ensamble en marcha ya que se indica que ejes están funcionando. Además se puede consultar la cuenta de productos ensamblados por el robot.



Figura 46. Pantalla de Tornos de Línea Azul y Ensambladora Azul en HMI



El funcionamiento del ciclo de ensamblaje se ha desarrollado mediante 12 temporizadores de 1 y 2 segundos. Con los temporizadores se le indicaba al robot en que momento debía accionar cada eje o cuando debía rotar, además de poder configurar a la vez el tiempo que podía tardar en realizar cada acción.

Una vez el robot de ensamblaje ha ensamblado y depositado en cajas tres productos, el motor de la transportadora de rodillos se activa para desplazar la caja con el producto ensamblado para dirigirla hacia el recogedor (FIN1) y hacer desaparecer la caja. La cuenta de producto ensamblado se realiza mediante un contador y un

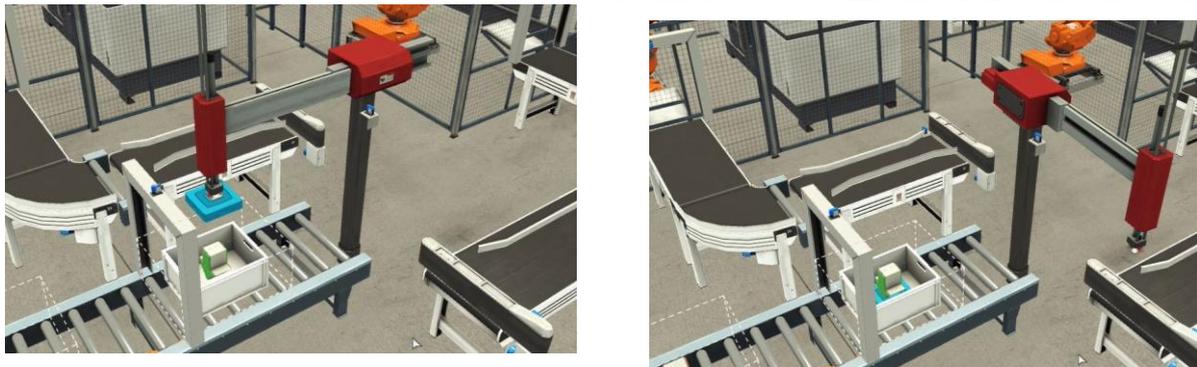


Figura 47. Secuencia del ciclo de ensamblaje.

sensor fotosensible (SECA). Cuando el brazo se posiciona encima de la caja con el producto ensamblado, el sensor SECA ya está detectando el brazo, y es cuando el brazo ha soltado el producto y ha realizado la rotación de su cuerpo para volver a su posición inicial cuando el sensor SECA lo deja de detectar y suma 1 en el contador de producto ensamblado, es decir, mediante un flanco negativo.

En la lógica utilizada para hacer desaparecer la caja y que el emisor de cajas (EMITTER_BOX) emita una nueva también se ha utilizado un flanco negativo, para evitar que el motor de la transportadora de rodillos siguiera activo, y desplazara la caja nueva emitida. Por tanto, el motor de la transportadora de rodillos se desactivará cuando el sensor fotosensible S_FIN1 detecte que se ha desaparecido la caja que estaba dentro del recogedor de cajas (FIN1), y una vez no ya no haya caja dentro del recogedor y el motor esté desactivado, el emisor de cajas emitirá una nueva caja.

En la Figura 48 se observa como una caja esta siendo desplazada por la transportadora de rodillos al llevar tres productos ensamblados, como marca la pantalla del panel de operario. Además, a la derecha se puede observar la pantalla de contadores del HMI, donde también se puede consultar la cuenta de productos totales ensamblados.



Figura 48. Secuencia de desplazamiento de cajas con producto ensamblado y pantalla de contadores en HMI.

4.2 Modo de funcionamiento paro o STOP

En el siguiente modo de funcionamiento, el operario deberá pulsar el pulsador led naranja (B_STOP2), e inmediatamente la planta operará en el modo paro o STOP. Como se indica en el apartado 3.2.2.2, este modo desactiva el emisor de materia prima (EMITTER), dejando sin alimentación de materia a la línea, y los demás elementos acaban la tarea que estaban realizando. Las cintas transportan la materia prima o las tapas o bases hacia su destino final; los centros de mecanizado acaban de mecanizar la pieza que estaban produciendo y la depositan en la rampa de salida; y los robots de ensamblaje terminan el ciclo de ensamblaje que tenían empezado. Una vez todos los elementos han terminado su tarea la línea queda detenida.

Para restablecer el modo de funcionamiento de la línea, el operario debe pulsar el pulsador led blanco (B_RESET2). En ese momento la planta quedará a la espera de que el operario pulse el pulsador led verde (B_START2) para iniciar el modo normal o START.

En la Figura 49 se muestra una vista general de la planta junto con el panel de operario, donde se puede observar que únicamente están activos los pulsadores led naranja (B_STOP2) y blanco (B_RESET2), correspondientes al modo de paro y al reset, indicando el modo de funcionamiento que está activo y la posibilidad de reestablecerlo con el pulsador reset. En la Figura 50 se muestra una vista general de toda la planta ya detenida, cuando todos los elementos han terminado el ciclo de operación que estaban realizando. En la Figura 51 se muestra la pantalla de control de mando del HMI con el pulsador STOP activo, indicando que el modo de funcionamiento que esta operando es el paro o STOP.



Figura 49. Vista general de la planta y el panel de operario con el modo de paro activado.

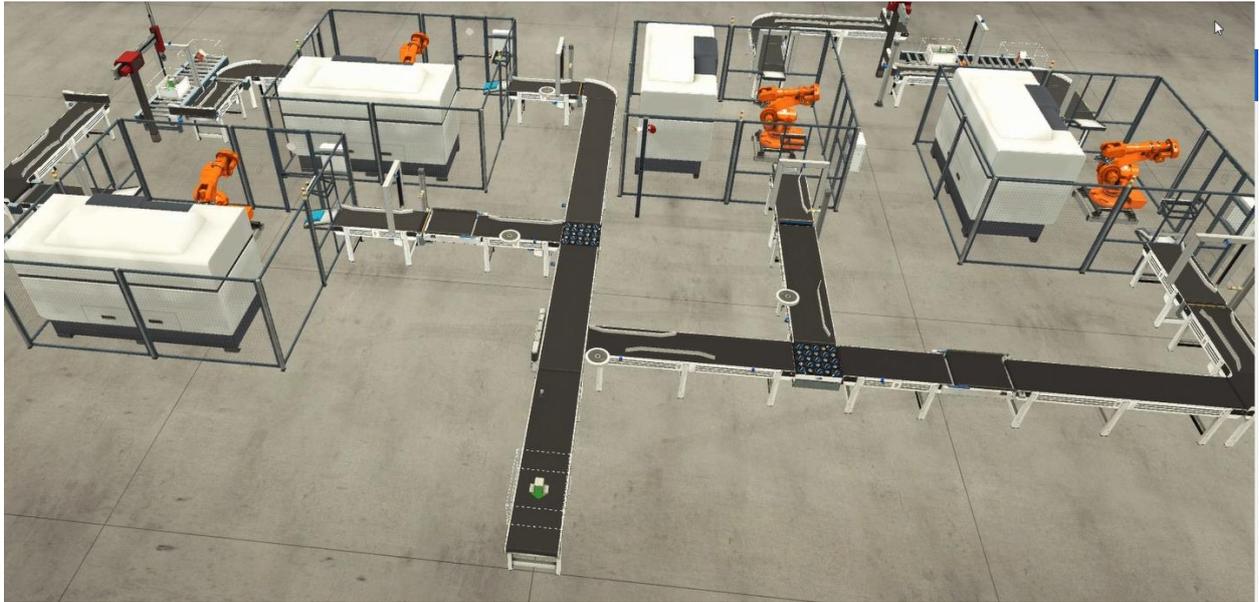


Figura 50. Vista general de la planta detenida en el modo de funcionamiento paro o STOP.

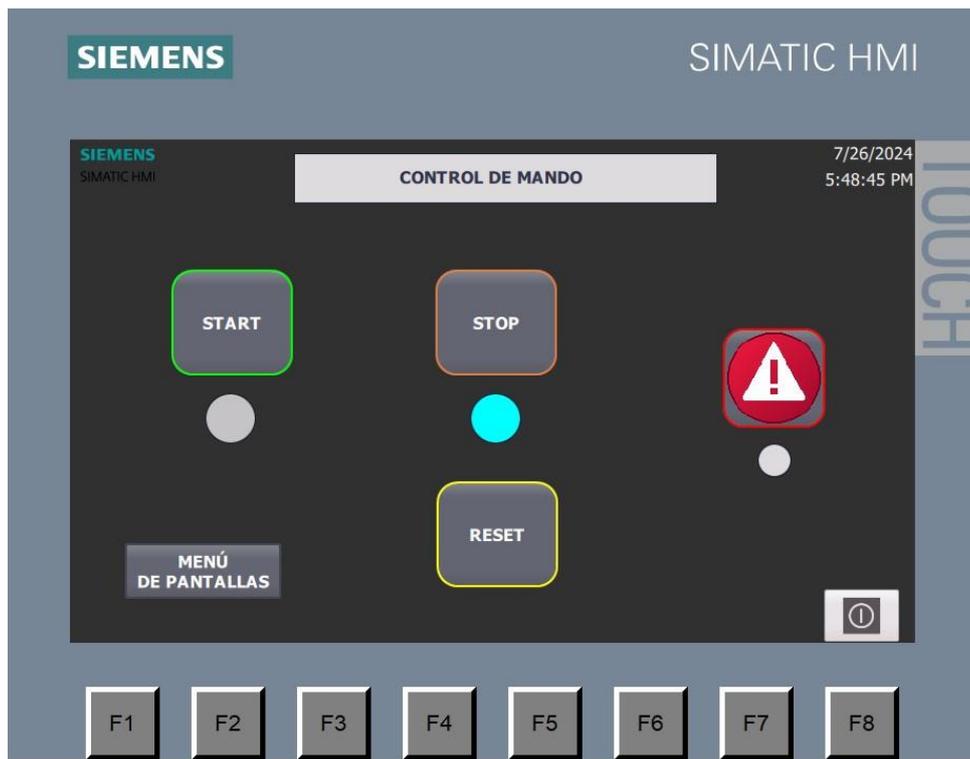


Figura 51. Pantalla del control de mando del HMI con el modo paro activado.

4.3 Modo de funcionamiento de Paro de Emergencia.

Para acceder a este modo de funcionamiento, el operario tiene dos opciones a su alcance. La primera es mediante el panel de operario, el cual dispone del interruptor de paro de emergencia (B_PE2). Si pulsa ese botón inmediatamente se desactivan todos los motores de la planta, y se detienen todos los robots de ensamblaje y los centros de mecanizado CNC, al mismo momento que se activan la alarma sonora y luminosa ubicadas en el centro de la planta, como se muestra en la Figura 52.

Del mismo modo, si una de las puertas de cintas transportadoras se acciona (o se abre), la planta también entrará inmediatamente en el modo de paro de emergencia, comportándose de la misma forma que la explicada en el párrafo anterior. Existen tres puertas de cintas transportadoras (CBTG, CMBG y CMT6), y se ubican en las zonas donde se necesita paso para poder acceder al panel de operario de los centros de mecanizado, por la existencia de cintas transportadoras que cortan el paso. El control del modo de funcionamiento START y STOP de los centros de mecanizado se controla con el panel de operario general, el que se ha visto hasta ahora, no obstante, el software Factory IO no permite programar el interruptor de emergencia de los centros, por lo que si es necesario acceder al panel de operario concreto de uno de los centros por una emergencia, solo bastaría con levantar la puerta de cinta transportadora.

Para reestablecer el modo de funcionamiento, el operario deberá desenroscar el interruptor de paro de emergencia (B_PE2) y pulsar el pulsador led blanco (B_RESET) correspondiente al reset. En el caso de haber accedido al modo de funcionamiento por medio de una puerta de cinta transportadora, tan solo sería necesario pulsar el pulsador led blanco reset.

En la Figura 52 se puede observar la pantalla de control de mando del HMI con el botón de emergencia activado, indicando el modo de funcionamiento que está activo en ese instante. Además, en la imagen de la derecha se puede observar que la pantalla de Línea Azul Tapas 1 muestra la apertura de la puerta de cinta transportadora que hay instalada en esa sublínea, del mismo modo, en las otras sublíneas donde hay una puerta de cinta transportadora también se muestra cuando está abierta y cuando está cerrada. Para más información consultar las Figuras C.7 y C.9 del Anexo C.

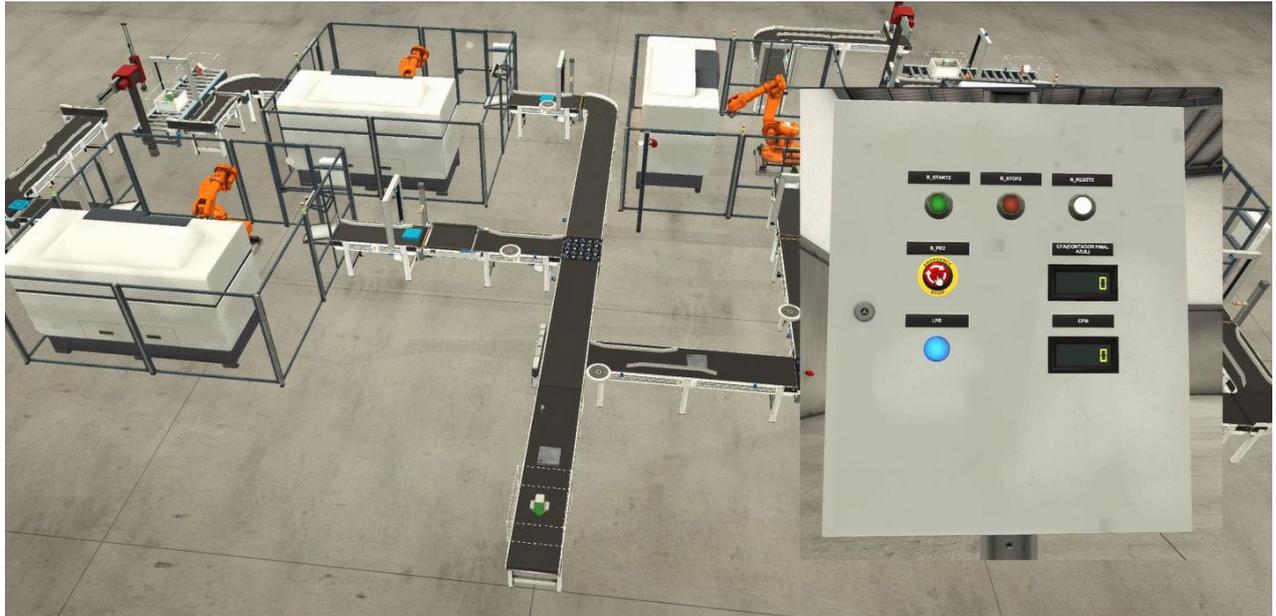


Figura 52. Vista general de la planta detenida por una emergencia y panel de operario con el interruptor de emergencia pulsado.

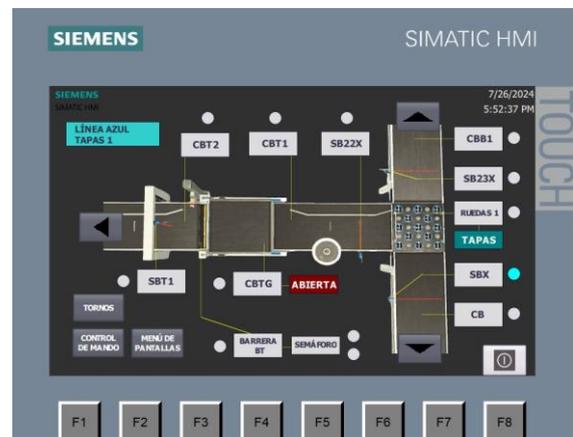
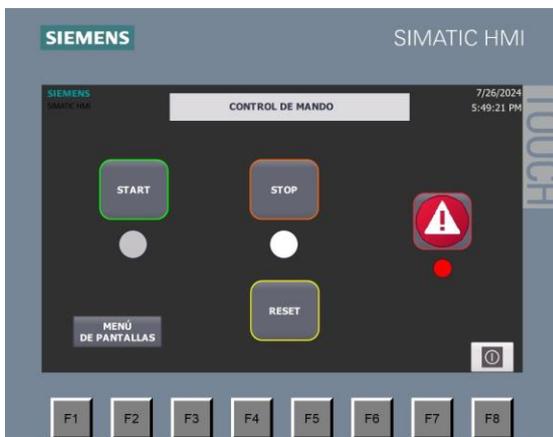


Figura 53. Pantalla de control de mando en el HMI con el botón de paro de emergencia activado y la pantalla de Línea Azul Tapas 1 indicando la apertura de la puerta CBTG.

5 Conclusiones y detalles a mejorar

Para finalizar, se puede considerar que se ha conseguido proyectar la idea principal que se planteó al inicio del trabajo, por lo que llegado hasta aquí se ha conseguido que la planta sea una línea automatizada de mecanizado, clasificación y ensamblaje de recipientes con tapa, donde se dispone de una simulación virtual de la planta completamente funcional con la que se puede interactuar mediante el panel de operario diseñado, o también se dispone de la pantalla HMI para poder interactuar con la línea remotamente desde una pantalla física.

Al inicio del nacimiento de la idea se hizo un estudio de los tipos de procesos industriales de mecanizado que existían, con el objetivo de poder inspirarse sobre alguna de ellas o buscar mejorarlas, aunque finalmente se decidiera partir de cero sin basarse en ningún proceso o línea existente, y confiar en los conocimientos y creatividad propia.

Durante el desarrollo de la idea, al partir desde cero, siempre se ha tenido la idea de no caer en la simpleza y en lo trivial, para así poder poner a prueba los conocimientos adquiridos durante la trayectoria académica, y con ese objetivo se ha dedicado mucho tiempo durante el diseño de la simulación y en la programación del PLC, para que el trabajo que se estaba creando estuviera debidamente estructurado y bien proyectado.

Además, cabe indicar que no se disponía del equipo idóneo para desarrollar este tipo de proyecto, y todas las complicaciones que ha conllevado eso se han materializado en forma de retrasos de tiempo y problemas con el software, que al final también se traducen en más retrasos. No obstante, se puede decir que estoy casi satisfecho con el resultado del trabajo, pero hay muchas cosas que se podrían haber mejorado.

En primer lugar, se considera que si se dispusiera de más tiempo, se podría haber realizado un estudio más extenso de la disposición de los elementos de la planta, para poder reducir el número de cintas transportadoras que se han utilizado y optimizar el espacio. También hay que tener en cuenta las limitaciones que presenta el software Factory IO en la configuración de los elementos.

En segundo lugar, se habría desarrollado un tipo de control de calidad del producto mediante sensores de visión. El software Factory IO da la posibilidad de entre los materiales disponibles no metálicos, elegir si es azul o verde. La idea que se tuvo fue simular la materia prima verde como materia prima defectuosa, y realizar en una sublínea nueva un control de calidad del producto ensamblado no metálico (azul) para desechar los productos de material verde, que se considerarían defectuosos. De este modo, la planta se acercaría más a los procesos que dispone una planta industrial de producción más compleja, desde mi punto de vista.

Por otro lado, también se hubiera estudiado otra manera de emitir producto, para darle más funcionalidad a la línea. Con el resultado final que se ha obtenido, se considera que al solo haber utilizado un emisor de materia prima ha limitado la funcionalidad de la planta, que también ha determinado su diseño. Haber utilizado dos emisores consideramos que le hubiera dado otro enfoque a la distribución de la planta y se tendría un funcionamiento distinto. Este punto que mejorar viene relacionado con el primer punto comentado.

Otra mejora pensada sería reducir el uso de temporizadores para el ciclo de ensamblaje de los robots de ensamblaje, o incluso estudiar otra forma de hacerlo funcionar para el tipo de ensamblaje que se ha diseñado. En su momento se probó a utilizar los sensores de los que dispone el propio robot, no obstante su uso conllevó muchos problemas con la simulación y la programación del robot, lo que llevó a recurrir a soluciones alternativas (utilización de temporizadores). Probablemente se deba a las limitaciones del hardware del que se ha dispuesto para desarrollar el trabajo.

6 Bibliografía

I-MAS. (Visitado: 02/03/2024). Fabricación y Ensamblaje en la Industria: Impulsando la Eficiencia y la Calidad.

<https://i-mas.com/fabricacion-y-ensamblaje-en-la-industria/>

3 DASSAULT SYSTEMES. (Visitado: 02/03/2024). Mecanizado CNC.

<https://www.3ds.com/es/make/guide/process/cnc-machining>

PROTOTOOL. (Visitado: 02/07/2024). Sistema de taladrado CNC. ¿Qué debe saber para el taladrado de precisión CNC?

<https://prototool.com/es/cnc-drilling/>

ROBOTNIK. (Visitado: 02/03/2024). Robots de ensamblaje: transformando las cadenas de montaje.

<https://robotnik.eu/es/robots-de-ensamblaje-transformando-las-cadenas-de-montaje/>

TALLERES MEDIAVILLA. (Visitado: 03/03/2024). ¿Qué es el torneado CNC y como se realiza el proceso correctamente?

<https://talleresmediavilla.es/que-es-el-torneado-cnc-y-como-se-realiza-el-proceso-correctamente/>

OPUSLINE. (Visitado: 04/03/2024). ¿Cuáles son las técnicas de ensamblaje más populares?.

<https://opus-line.es/cuales-son-las-tecnicas-de-ensamblaje/>

RAPID DIRECT. (Visitado: 04/03/2024). Tipos de Operaciones de Mecanizado: Clasificaciones y Diferencias.

<https://www.rapiddirect.com/es/blog/types-of-machining-operations/>

UMESAL. (Visitado: 04/03/2024). Líneas de ensamble: beneficios para la automatización.

<https://umesal.com/lineas-de-ensamble-beneficios-para-la-automatizacion/>

FACTORY IO. (Visitado: 20/03/2024). Sorting by Height with S7-1200/1500.

<https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/sample-s7-1200-1500/>

FACTORY IO. (Visitado: 20/03/2024). Parts.

<https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/sample-s7-1200-1500/>

PINACHO. (Visitado: 15/07/2024) Tornos CNC de uso fácil e intuitivo.
<https://pinachocnc.com/tornos/tornos-cnc/torno-paralelo-se/>

ASHLAND CONVEYOR PRODUCTS. (Visitado: 15/07/2024). Puertas de cintas transportadoras.
<https://www.ashlandconveyor.com/pages/gate-selection-guide>

MK NORTH AMERICA. (Visitado: 15/07/2024). Line Access & Lift Gate Conveyors.
<https://www.mknorthamerica.com/engineered-solutions/line-access/>

FALCON AUTOTECH. (Visitado: 15/07/2024). Swivel Wheel Sorter.
<https://www.falconautotech.com/swivel-sorter/>

SIEMENS. (Visitado: 15/07/2024). S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Relé.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ES/Catalog/Product/?mlfb=6AG1214-1BG40-4XB0&SiepCountryCode=ES>

SIEMENS. (Visitado: 15/07/2024). SIMATIC S7-1200 Módulo de entradas digitales SM 1221.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7221-1BH32-0XB0>

SIEMENS. (Visitado: 15/07/2024). SIMATIC S7-1200, módulo de salidas digitales SM 1222.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ES/Catalog/Product/?mlfb=6ES7222-1BH32-0XB0&SiepCountryCode=ES>

ICONVEY. (Visitado: 16/07/2024). Modular Belt Sorting System.
<https://www.iconveytech.com/products/sortation-conveyor/modular-belt-sorting-system/>

UNIVERSAL ROBOTS. (Visitado: 19/07/2024). Robot colaborativo UR10e
<https://www.universal-robots.com/es/productos/robot-ur10/>

ALIBABA. (Visitado: 19/07/2024). Sistema de control FANUC de servicio medio horizontal CNC.
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/iHT625-China-High-Quality-Horizontal-CNC-62014089702.html?spm=a2700.8699010.29.6.716110b0WHxadT>

RS. (Visitado: 19/07/2024). Fuente de alimentación de carril DIN Siemens SITOP PSU100S.
<https://es.rs-online.com/web/p/fuentes-de-alimentacion-de-montaje-en-carril-din/7767729>

EPSON. (Visitado: 19/07/2024). SCARA T3-B401S.
https://www.epson.es/es_ES/productos/robots/scara-robots/scara-t3b401s/p/35895?pid=35895

OMRON. (Visitado: 19/07/2024). Nuevo robot i4L para mecanizado de precisión, montaje y material handling.
<https://industrial.omron.es/es/products/i4l>

IGUS. (Visitado: 19/07/2024). Drylin Robot Delta.
<https://www.igus.es/product/20433?artNr=DLE-DR-0005>

FERPLAST. (Visitado: 20/07/2024) Transportadores de rodillos y cintas transportadoras.
<https://www.fer-plast.com/es/productos/manipulacion-y-almacenamiento/rodillos-y-cintas/rodillos-locos>

PROFISHOP. (Visitado: 20/07/2024). Rodillo portante para vías de rodillos.
https://www.jungheinrich-profishop.es/Rodillo-portante-para-vias-de-rodillos-acero-eje-roscado-o-con-muelle-27146-151805/?Shop=b2c&sd=true&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw1920BhA3EiwAJT3lSWbXdKTPHuNuhps7gUafXNrC5hDL3AALI3y-Iwf1-ChjbiyO9awWYxoCtMgQAvD_BwE

ALIBABA. (Visitado: 21/07/2024). Clasificador de ruedas de equilibrio.
https://www.alibaba.com/product-detail/High-Performance-Roller-Sorter-Machine-Balance_1601049957841.html?spm=a2700.7735675.0.0.1ef3Wn5kWn5kXu&s=p

WIA AUTOMATION. (Visitado: 21/07/2024). Fococélula SICK WL12 2B560.
https://es.wiautomation.com/sick/productos-generales/fococelulas/WL122B560?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=E_S_pmax_full&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw1920BhA3EiwAJT3lSYu4yAKRPfqiVfntmQw3CEDLsVFTa88uODWWKQREOBvYJ-6cL_UZ4xoCJUUAQAvD_BwE

RS. (Visitado: 21/07/2024). Sensor inductivo SICK.
https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-proximidad/2669731?cjdata=MXxZfDB8WXww&cm_mmc=ES-CJAFF--Kelkoo+Internet+SL--RS+Components+ES+Product+Feed&cjevent=146036c0446311ef80cd00010a18ba73

EXAPRO. (Visitado: 22/07/2024). Torno CNC de doble husillo y doble torreta EMCO HYPERTURN.
<https://www.exapro.es/emco-hyperturn-665mc-plus-p240628276/>

MUNDO EXTINTOR. (Visitado: 22/07/2024). Sirena de alarma bitonal con luz.
https://www.mundoextintor.com/sirena-de-alarma-bitonal-con-luz-b2cc/?otcountry=ES&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw1920BhA3EiwAJT3lSWOfE-WUKUUDvExbVIHn5FEjco3U41qNWeDdNWvrYAdwPL0LpIPyTBoCiiUQAvD_BwE

WEERG. (Visitado: 25/07/2024). Materiales CNC: qué son y cómo elegir el más adecuado.
<https://www.weerg.com/es/guias/materiales-cnc-que-son-y-como-elegir-el-mas-adecuado>

TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA. (Visitado: 25/07/2024). Robots de ensamblaje industrial para acelerar la línea productiva.
<https://tecnologiaparalaindustria.com/robots-de-ensamblaje-industrial-para-acelerar-la-linea-productiva/>

ETTORE GALLINA. (Visitado: 26/07/2024). Cálculos Eléctricos (Aplicación móvil).
<https://play.google.com/store/apps/details?id=it.Ettore.calcolielettrici&hl=es&gl=US&pli=1>.

UNE. (Visitado: 25/07/2024). Normalización Española.
<https://www.une.org/>