



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño e implementación de un gemelo digital de un proceso de fabricación automatizado y supervisado remotamente.

Autor: D. Alonso Sáez Serrano.

Tutor: D. Felipe Acebes Arconada.

Valladolid, Junio, 2020



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Diseño e implementación de un gemelo digital de un proceso de
fabricación automatizado y supervisado remotamente.**

Autor: D. Alonso Sáez Serrano.

Tutor: D. Felipe Acebes Arconada.

Valladolid, Junio, 2020

Resumen:

El presente trabajo de fin de máster se enfoca en el diseño de una línea de fabricación industrial por medio de un gemelo digital para su posterior automatización y supervisión de manera remota.

La implementación del gemelo digital se ha desarrollado por medio del software Factory IO, la automatización del proceso se ha realizado con el entorno de TIA Portal y finalmente la supervisión del mismo se ha implementado por medio de un SCADA desarrollado con Wonderware InTouch.

Con todo ello se busca que en el momento en el que el proceso productivo haya sido construido, toda la configuración y la programación desarrollada en el gemelo digital pueda ser extrapolada al modelo real sin la necesidad de realizar ningún tipo de modificación.

Palabras Clave: Factory IO, TIA Portal, Wonderware, Gemelo Digital, PLC.

Abstract:

The present Final Master Project focuses on the design of an industrial manufacturing line using a digital twin for subsequent automation and remote monitoring.

The digital twin has been implemented through the software Factory IO, the automation of the process has been done through TIA Portal in its version 14 and finally the supervision of it has been implemented by means of a SCADA developed with Wonderware InTouch.

With all this is sought that by the time when the productive process has been built, all programming and configuration developed in digital twin can then be extrapolated to the real model without need to make any modification.

Key Words: Factory IO, TIA Portal, Wonderware, Digital Twin, PLC.

Índice:

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Contextualización y objetivos:.....	1
1.2 ¿Qué es un gemelo digital?	2
1.3 Estado del arte	3
1.4 Estudio de alternativas y solución adoptada	4
1.5 Estructura y contenido de la memoria.	5
Capítulo 2: Factory IO	7
2.1 Acerca de Factory IO	7
2.2 Descripción general del proceso productivo	8
2.3 Etapas de diseño del proceso productivo.....	13
2.4 Partes del modelo	17
2.4.1 Manutenciones ligera y pesada	17
2.4.2 Máquinas de proceso	19
Estación de mecanizado:	19
Montaje:.....	20
Empujadores:	20
Apiladora:	21
Paletizadora:.....	21
Almacén:	22
RFID:.....	23
2.4.3 Sensores	24
Capítulo 3: TIA Portal.....	27
3.1 Acerca de TIA Portal	27
3.2 Modelo de programación.....	27
3.3 Estructura del programa.....	29
3.4 Pupitres de control	30
3.5 Manutención ligera	33
3.5.1 Cintas lineales:.....	33
3.5.2 Intersección de cintas:	35
3.6 Manutención pesada	36
3.6.1 Cintas transporte pesado:.....	36
3.6.2 Mesa de giro:	36
3.7 Máquinas de proceso:	41

3.7.1	CNC (FC 1):.....	41
3.7.2	Montadora (FC 2):	42
3.7.3	Empujadores (FC 3):.....	43
	Empujador de tipo perpendicular:	44
	Empujador de tipo paralelo:.....	45
3.7.4	Apiladora (FC 4):	46
3.7.5	Paletizadora (FC 5):.....	48
3.7.6	Dispositivos RFID (FC 9):	51
3.7.7	Almacen (FC 6):.....	54
Capítulo 4:	Wonderware	59
4.1	Acerca de Wonderware System Platform.....	59
4.2	Entorno gráfico del SCADA	59
Capítulo 5:	Comunicaciones.....	62
5.1	Comunicación TIA Portal y Factory IO	62
5.2	Comunicación TIA Portal y Wonderware.....	65
5.2.1	NettoPLCSim.....	65
5.2.2	KepServerEx6.....	67
5.2.3	Wonderware.....	70
Capítulo 6:	Estimación costes directos	71
Capítulo 7:	Conclusiones.....	73
Bibliografía:		75
Anexo 1: Introducción a Factory IO.....		77
Interfaz de usuario:		77
Zona 1: Barra de herramientas.....		77
Zona 2: Paleta de elementos.....		78
Zona 3: Barra de estado.....		78
Modo de edición:		78
Modo de ejecución.....		79
Anexo 2: Conceptos básicos TIA Portal		81

Índice de imágenes:

Imagen 1: Representación figurada de un gemelo digital de proceso. Fuente: Siemens.....	3
Imagen 2: Logo Factory IO.....	7
Imagen 3: Base y tapa por ambas caras.....	8
Imagen 4: Tipos de productos fabricados.....	8
Imagen 5: Vista general proceso productivo.....	9
Imagen 6: Material en bruto.....	10
Imagen 7: Vista general estaciones de mecanizado.....	10
Imagen 8: Vista general montadora.....	10
Imagen 9: Producto resultante de unir tapa y base.....	11
Imagen 10: Vista general empujadores.....	11
Imagen 11: Vista general paletizadoras.....	11
Imagen 12: Pallet cargado.....	12
Imagen 13: Vista general apiladora.....	12
Imagen 14: Vista general almacén automatizado.....	13
Imagen 15: Configuración inicial con dos tornos.....	13
Imagen 16: Configuración final con cuatro tornos.....	14
Imagen 17: Situación inicial y final almacén.....	14
Imagen 18: Diseño inicial y final de un cruce en la manutención pesada.....	15
Imagen 19: Prolongación del nivel superior de la manutención ligera para evitar colisión con la mesa de giro.....	15
Imagen 20: Diseño de la manutención sin topes.....	16
Imagen 21: Diseño de la manutención con topes.....	16
Imagen 22: Transportador lineal ligero (izquierda) y pesado (derecha).....	17
Imagen 23: Transportador de cinta inclinado.....	18
Imagen 24: Transportadores curvos.....	18
Imagen 25: Topes.....	18
Imagen 26: Mesa de giro.....	19
Imagen 27: Estación de mecanizado.....	19
Imagen 28: Estación de montaje.....	20
Imagen 29: Esquema cinemático robot tipo cilíndrico.....	20
Imagen 30: Caminos seguidos por los diferentes productos.....	20
Imagen 31: Esquema cinemático de un robot cartesiano.....	21
Imagen 32:Apiladora.....	21
Imagen 33: Paletizadora.....	22
Imagen 34: Almacén automatizado.....	22
Imagen 35: Zonas del almacén.....	23
Imagen 36: Lector y etiquetas RFID.....	24
Imagen 37: Sensor capacitivo.....	24
Imagen 38: Sensor fotoeléctrico.....	24

Imagen 39: Cámara visión artificial.....	25
Imagen 40: Modos de funcionamiento.....	28
Imagen 41: Estructura esquemática del programa.....	29
Imagen 42: Vista genera de un pupitre de control.....	30
Imagen 43: Botones pupitre de control.....	30
Imagen 44: Procedimiento puesta en servicio.....	31
Imagen 45: Procedimiento marcha ciclo.....	31
Imagen 46: Seta de emergencia.....	32
Imagen 47: Baliza luminosa.....	32
Imagen 48: Tope elevado y recogido en el acceso a una cinta.....	33
Imagen 49: Esquema funcionamiento tope lineal.....	33
Imagen 50: Interconexión FBs control topes.....	34
Imagen 51: Esquema funcionamiento de una intersección.....	35
Imagen 52: FB de control de cruces.....	36
Imagen 53: Partes de una mesa de giro.....	37
Imagen 54: Movimientos mesa de giro.....	37
Imagen 55: Movimientos de la mesa si un pallet accede por la vía 4.....	38
Imagen 56: Movimientos de la mesa si un pallet accede por la vía 2.....	38
Imagen 57: Movimientos y sensores mesa de giro.....	39
Imagen 58: Configuración entradas y salidas mesa de giro.....	40
Imagen 59: Entrada y salida torno CNC.....	41
Imagen 60: Máquina montadora.....	42
Imagen 61: Empujadores paralelo y lineal.....	43
Imagen 62: Funcionamiento del empujador perpendicular.....	44
Imagen 63: Funcionamiento del empujador tipo paralelo.....	45
Imagen 64: Cinta empujador paralelo.....	45
Imagen 65: Modos de apilación de cajas.....	46
Imagen 66: Selector número de cajas en la apiladora.....	46
Imagen 67: Funcionamiento de la apiladora.....	47
Imagen 68: Accesos apiladora.....	48
Imagen 69: Orientación niveles de cajas.....	48
Imagen 70: Plataforma elevadora de la paletizadora.....	49
Imagen 71: Brazo posicionador y tope.....	49
Imagen 72: Cajas por fila.....	50
Imagen 73: Brazo de empuje.....	50
Imagen 74: Cajas cayendo sobre el pallet.....	51
Imagen 75: Pallet cargado con tres niveles.....	51
Imagen 76: Rango detección RFID.....	52
Imagen 77: RFIDs de escritura en la apiladora.....	53
Imagen 78: RFID lectura almacén.....	53
Imagen 79: Grúas almacén.....	54

Imagen 80: Elementos grúa.....	55
Imagen 81: Lectura etiqueta RFID.....	55
Imagen 82: Horquillas extendidas recogiendo carga.....	56
Imagen 83: Horquillas extendidas y elevadas.....	56
Imagen 84: Pallet cargado en el carro transportador.....	56
Imagen 85: Proceso de depositar pallet en el estante.....	57
Imagen 86: Controles extracción pallets almacén.....	57
Imagen 87: Área de identificación.....	59
Imagen 88: Ventana de identificación.....	60
Imagen 89:Entorno gráfico SCADA.....	61
Imagen 90: Esquema general comunicaciones.....	62
Imagen 91: Comunicación TIAPortal y Factory IO.....	63
Imagen 92:Habilitación PLCSim.....	63
Imagen 93: PLCSim.....	64
Imagen 94: Carga avanzada TIA Portal.....	64
Imagen 95: Menú Archivo.....	64
Imagen 96: Estado correcto de la comunicación.....	64
Imagen 97: Drivers de comunicación en Factory IO.....	65
Imagen 98: Comunicación NettoPLCSim con TIAPortal.....	65
Imagen 99: Estado correcto puerto 102.....	66
Imagen 100: Selección de la tarjeta de red.....	66
Imagen 101: Error PLC no detectado.....	66
Imagen 102: Comunicaciones de KepServerEX.....	67
Imagen 103: IP generada por NETtoPLCSim.....	68
Imagen 104: Instalación protocolo SuiteLink.....	68
Imagen 105: Application Name y topic.....	69
Imagen 106: Creación de un alias.....	69
Imagen 107: Configuración comunicaciones InTouch.....	70
Imagen 108: Vista general Factory IO.....	77
Imagen 109: Barra de estado.....	78
Imagen 110: Movimientos.....	79
Imagen 111: Configuración de elementos.....	79
Imagen 112: Control de variables desde Factory IO.....	80

Índice de tablas:

Tabla 1: Condiciones de activación de un tope en cintas lineales.	34
Tabla 2: Condiciones de activación de un tope en cruces.	35
Tabla 3: Configuración vías de acceso a las mesas de giro.	41
Tabla 4: Dedicación horaria y coste.	71

Capítulo 1:

Introducción

1.1 Contextualización y objetivos:

En el mundo actual los procesos de diseño se están volviendo más digitalizados que nunca, todos ellos apoyados por herramientas informáticas, como por ejemplo herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD), herramientas de análisis de elementos finitos (FEA), fabricación asistida por ordenador (CAM), entre otras. Los productos son creados virtualmente en ordenadores para visualizar sus elementos, simular su comportamiento y validar su desempeño. Por otro lado, en el mundo físico gracias a tecnologías como el internet de las cosas (IoT), la nube o la inteligencia artificial, el desempeño de los productos, su comportamiento y su interacción con los usuarios, puede ser medido y analizado en tiempo real. Sin embargo, los productos virtual y real, son en general construidos, analizados y mejorados de forma separada, lo que puede llevar a problemas de coherencia de datos entre ambas realidades.

En este contexto surge el concepto de los gemelos digitales, que se caracterizan por intentar aunar ambas realidades, la física y la digital. De este modo es posible la creación de un entorno virtual que se trate de una copia del mundo real sobre la que poder aplicar todas las técnicas y conocimientos sin la necesidad de disponer del modelo real.

Bajo estas premisas se ha desarrollado el presente trabajo de fin de máster a partir del cual se busca la consecución de los siguientes objetivos:

- I. Diseñar una línea de fabricación industrial por medio de un gemelo digital para poder aplicar en ella todas las técnicas necesarias para la automatización y supervisión del proceso productivo.
- II. Adquirir conocimientos en la programación de autómatas con el fin de poder desarrollar un sistema de control basado en un controlador lógico programable (PLC) para la automatización completa del gemelo digital.
- III. Profundizar en el conocimiento del desarrollo de sistemas SCADA para la supervisión de procesos y en el análisis de datos en tiempo real.
- IV. Desarrollar un proyecto interconectado que en su conjunto sea extrapolable en un futuro al modelo físico del gemelo digital, sin la necesidad o reduciendo al mínimo, los tiempos de puesta en marcha.

1.2 ¿Qué es un gemelo digital?

Los gemelos digitales son una nueva faceta de la Industria 4.0 que surgen debido a las nuevas necesidades de las industrias y el avance hacia un mundo cada vez más digitalizado.

Un gemelo digital es una copia virtual de un producto o un proceso que permite simularlo, predecirlo y optimizarlo, antes de realizar cualquier actuación sobre el propio activo físico. De este modo, el mundo de la ingeniería es capaz de examinar sus diseños, probar su funcionamiento, detectar errores e implementar posibles modificaciones, antes de materializar dichos modelos en la vida real.

Una de las premisas básicas de un gemelo digital es su grado de similitud con el producto o proceso que representan, es por ello que los gemelos digitales no tienen un carácter estático, sino que se van actualizando con la información obtenida del producto/proceso real, para adaptarse a posibles nuevas condiciones de funcionamiento o cambios que se puedan producir a lo largo del tiempo. De este modo se genera un circuito cerrado de retroalimentación entre el modelo virtual y el modelo real, que permite a las empresas realizar una optimización continua de sus productos y procesos.

Los gemelos digitales son tecnologías muy avanzadas que presentan diferencias en función del uso o la aplicación que se les dé. En ese sentido pueden diferenciarse tres grandes grupos o tipos de gemelos digitales:

- **Gemelo digital de producto:** Son creados cuando un nuevo producto es definido y diseñado. Este tipo de gemelos permiten la visualización, simulación y validación de los productos, tanto su parte mecánica, eléctrica o electrónica. Gracias a todo ello se evita la necesidad de utilizar numerosos prototipos, se reduce el tiempo de desarrollo total, se mejora la calidad del producto final fabricado y se pueden realizar acciones más rápidas en respuesta a demandas de los clientes.
- **Gemelos digitales de rendimiento:** Este tipo de gemelos digitales capturan grandes cantidades de información en tiempo real que se genera durante el funcionamiento de los procesos o los productos. Dicha información se analiza extrapolándola al gemelo digital y esto se traduce a su vez en nuevos datos y estadísticas que pueden realimentarse al modelo físico para obtener un estado de funcionamiento óptimo.
- **Gemelo digital de proceso:** Un gemelo digital de una máquina ayuda a validar la eficacia con la que funcionará esa máquina cuando se integre en el proceso de fabricación en la planta real, incluso antes de iniciar la producción. Este tipo de gemelos digitales no tiene porqué limitarse exclusivamente a una máquina del sistema productivo, sino que por medio de la interconexión de los gemelos digitales de cada una de las máquinas se puede generar un gemelo digital de todo el proceso productivo.

De este modo es posible simular el funcionamiento de líneas completas de producción, probar el desempeño de las máquinas a partir de la programación desarrollada, depurar fallos y en definitiva realizar una puesta en marcha virtual de la línea productiva y crear una metodología de producción que mantenga su eficiencia en diversas situaciones.

Es en este último tipo de gemelo digital, donde se enmarca el desarrollo del presente trabajo de fin de máster.



Imagen 1: Representación figurada de un gemelo digital de proceso. Fuente: Siemens.

1.3 Estado del arte

El origen del concepto gemelo digital puede fijarse en el año 2002 en la Universidad de Michigan en el contexto de una presentación realizada por Michael Grieves sobre la gestión del ciclo de vida de los productos. A pesar de que inicialmente no se denominó a este concepto gemelo digital, sí que se definieron los tres aspectos básicos que debía reunir: mundo real, mundo virtual y transferencia de información entre ambos. Desde entonces el concepto se ha ido desarrollando, matizando y más recientemente ha comenzado a ser una realidad en grandes empresas por todo el mundo.

Algunos de los ejemplos más destacables en cuanto a la implementación de gemelos digitales los podemos encontrar en empresas como:

- **Maserati y Vühl:** Ambas son empresas de fabricación de automóviles; deportivos de lujo en el caso de la primera o vehículos de carreras en el caso de la segunda. Maserati se caracteriza por haber desarrollado en su planta de Turín un gemelo digital completo de todo su proceso productivo mediante el software CAD NX de Siemens, lo que le ha permitido ahorrar costes, reducir errores, mejorar la calidad de sus automóviles y la reducción de los tiempos de entrega. En el caso de Vühl, ha desarrollado gemelos digitales que monitorizan en tiempo real el desempeño de coches de Fórmula 1 mediante gran cantidad de sensores que permiten a los ingenieros ajustar los parámetros del coche incluso cuando está en pista.
- **Rolls Royce:** La división aeroespacial de esta multinacional desarrolla gemelos digitales enfocados principalmente en el mantenimiento predictivo de motores destinados a la aviación.
- **General Electric:** En esta multinacional energética, uno de los enfoques que realiza de los gemelos digitales es en términos de la optimización de la eficacia y el rendimiento de sus aerogeneradores. Para ello crea multitud de escenarios virtuales sobre los que mide resultados, los optimiza y los extrapola al modelo real.

- **Fuerzas Armadas:** El mundo militar no se queda al margen de la aplicación de los gemelos digitales; en el caso concreto de España, en la actualidad se encuentran en desarrollo los gemelos digitales de la fragata F-110 y el vehículo de combate 8x8 Dragon. Ambos permiten experimentar y simular multitud de escenarios a los que podrían tener que enfrentarse en el mundo real, pero sin asumir ningún tipo de riesgo.

Al margen de las grandes multinacionales o entidades de gran poder económico que desarrollan elaboradísimos gemelos digitales, cabe destacar una empresa con sede en Valladolid que también se ha iniciado en la aplicación de este tipo de tecnología en sus procesos de fabricación.

Esta empresa es **Sonae Arauco** o más conocida por su nombre anterior **TAFISA**. El gemelo digital que ha desarrollado se aplica en el proceso de secado de las fibras de la madera, modificando virtualmente las condiciones de secado y analizando los resultados, sin provocar ningún tipo de coste ni pérdida de tiempo.

1.4 Estudio de alternativas y solución adoptada

Para la consecución de los objetivos planteados al comienzo de este capítulo, se pueden diferenciar tres ejes de acción, teniendo cada uno de ellos diferentes posibilidades para ser abordados:

- **Eje 1: Desarrollo del gemelo digital.**
En el mercado actual no existe una gran variedad de softwares que sean capaces de gestionar e integrar la gran cantidad de información que se requiere para la elaboración de gemelos digitales (herramientas CAD, ERP, MES, PLM entre otras). A modo ilustrativo se citan algunos de estos softwares como son: NC Simul, CAD NX, MapleSim o 3DExperience. Todos ellos se caracterizan por la elevada complejidad en su manejo, pero sobre todo por su elevadísimo coste económico. Es por ello que en este sentido se ha optado por el uso de Factory IO, que se trata de un software bastante más modesto que puede considerarse como una herramienta introductoria al desarrollo de gemelos digitales.
- **Eje 2: Programación del sistema de control.**
En el caso de programación de autómatas existe una gran variedad de softwares disponibles, tanto versiones gratuitas como de pago. Algunas de estas herramientas más conocidas son: Sysmac Studio de Omron, TIA Portal de Siemens, PL7Pro de Schneider Electric o RSLogix 5000 de Rockwell Automation. De todos ellos se ha optado por el uso de TIA Portal por ser una de las herramientas de programación de autómatas más extendida, además de disponer de licencias para su uso en la Universidad.
- **Eje 3: Desarrollo del entorno de supervisión**
Al igual que en el caso de programación de autómatas, para el desarrollo de sistemas SCADA existe un amplio abanico de posibilidades en el mercado. De todas ellas se ha utilizado el software Wonderware desarrollado por Schneider Electric, debido a que se disponía de una base de conocimiento en su manejo y a la disponibilidad de licencias en la Universidad.

1.5 Estructura y contenido de la memoria.

La estructura de la memoria está basada en los ejes de acción descritos en el apartado anterior.

En el **Capítulo 1** en el que actualmente se encuentra el lector, se ofrece un primer vistazo general del trabajo, proporcionando la contextualización y el marco teórico sobre el que se han desarrollado los objetivos de este. Del mismo modo, se presentan las diferentes vías para abordar cada uno de los objetivos, indicando para cada uno de ellos la solución adoptada.

En el **Capítulo 2** se abordará el análisis del software Factory IO, que se trata del software utilizado para la creación del gemelo digital. Se expondrá la finalidad y utilidad del programa, se presentará el funcionamiento general del proceso productivo, su proceso de diseño y los elementos que forman cada una de las máquinas.

En el **Capítulo 3** se centra en el análisis de TIA Portal como herramienta utilizada para desarrollo de la programación que permite la automatización y buen funcionamiento del proceso productivo. Se expondrá el método general de automatización desarrollado y se analizará el funcionamiento concreto de cada una de las máquinas.

En el **Capítulo 4** se presenta el entorno de supervisión desarrollado mediante Wonderware System Platform. Se proporciona una breve introducción al software y se exponen los diferentes campos y los modos de visualización existentes en el SCADA desarrollado.

En el **Capítulo 5** se describen el conjunto de comunicaciones que se establecen entre los diferentes programas que permiten el funcionamiento del gemelo digital. Se analiza y explican los protocolos de comunicación que intervienen y el modo de configuración de cada una de las mencionadas comunicaciones.

En el **Capítulo 6** se incluye un breve estudio económico de los costes directos que ha supuesto el desarrollo del trabajo.

En el **Capítulo 7** se presentan las conclusiones finales.

Capítulo 2:

Factory IO

En el presente capítulo se abordará el análisis del software Factory IO, que se trata del software utilizado para la creación del gemelo digital.

Se expondrá la finalidad y utilidad del programa, se presentará el funcionamiento general del proceso productivo y los elementos que forman cada una de las máquinas.

2.1 Acerca de Factory IO

En la actualidad, existen en el mercado diversas herramientas destinadas a la creación de entornos 3D con los que emular procesos productivos. Cada una de estas herramientas está destinada o especializada en un ámbito. En este sentido Factory IO es un software desarrollado por la compañía *Real Games*, orientado principalmente en el ámbito educativo con el fin de adquirir y desarrollar conocimientos en el entorno de las tecnologías de la automatización y el diseño de procesos industriales.



Imagen 2: Logo Factory IO.

Algunas de sus características más importantes son las siguientes:

- Entorno 3D de simulación.
- Disponibilidad de más de 100 elementos industriales.
- Posibilidad de crear modelos propios o hacer uso de modelos ya creados.
- Elevada compatibilidad con diversos tipos de controladores externos (Allen-Bradley, Automgen, MHJ, Siemens).

Factory IO no se trata de un software complicado en cuanto a su manejo se refiere, si bien es verdad, es necesario una serie de conocimientos básicos para poder aprovechar al máximo sus funcionalidades. En el Anexo 1 se recoge una guía de iniciación para acercar al lector el manejo del programa y facilitar la comprensión de las distintas explicaciones que se dan a lo largo de esta memoria.

2.2 Descripción general del proceso productivo

El proceso de fabricación desarrollado está enfocado en la elaboración de un tipo producto con forma cuadrada que está constituido por la unión de dos piezas: una base y una tapa. En la Imagen 3 se pueden observar cada una de estas piezas por ambas caras.

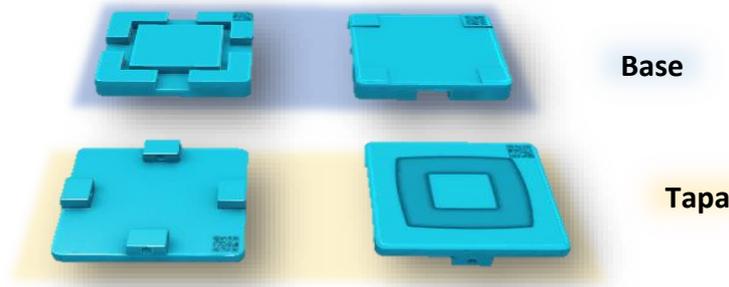


Imagen 3: Base y tapa por ambas caras.

Este tipo de producto presenta tres variantes (Imagen 4) en función del tipo de tapa que llevan, diferenciando así:

- **Producto 1:** Base metálica + tapa color azul.
- **Producto 2:** Base metálica + tapa color verde.
- **Producto 3:** Base metálica + tapa metálica.



Imagen 4: Tipos de productos fabricados.

Cada uno de los productos presenta pesos diferentes debido a que no todas sus partes están hechas con los mismos materiales. Los productos 1 y 2 presentan un peso de 12 Kg y el producto 3 presenta un peso de 14 Kg. Esta diferencia de pesos como se verá más adelante, supondrá la necesidad de utilizar máquinas diferentes en función del tipo de producto con el que se trabaje.

Identificados los tres tipos de productos finales que se pueden obtener, se describe a continuación a grandes rasgos el proceso de fabricación global y posteriormente se abordará con más detalle las características de cada una de las máquinas que forman el proceso productivo.

En la Imagen 5 se puede observar una panorámica general del proceso productivo con las máquinas que forman parte de él.

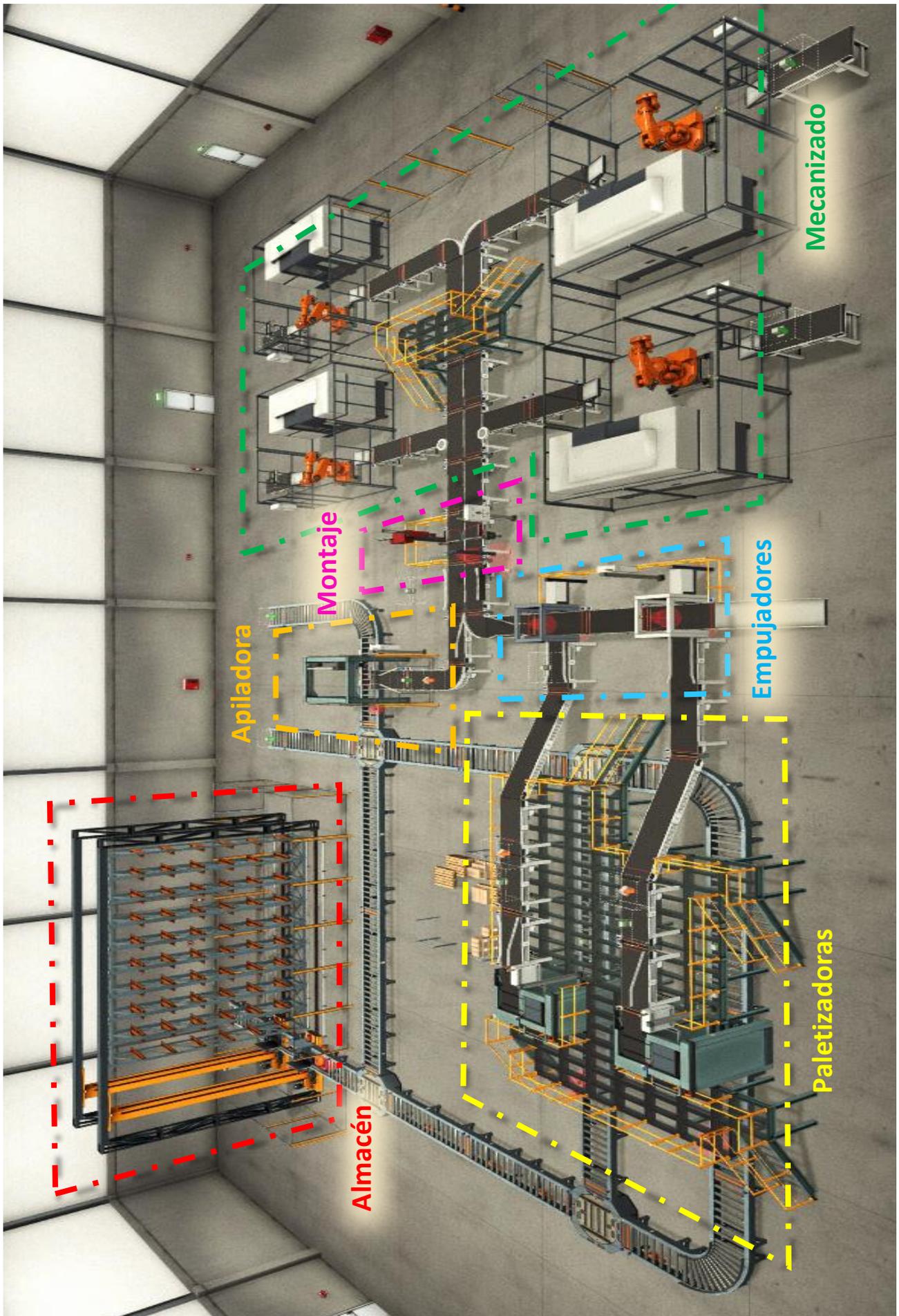


Imagen 5: Vista general proceso productivo.

El proceso se inicia con la entrada del material en bruto (Imagen 6) a través de las cintas transportadoras; que llevan el material hasta las estaciones de mecanizado, donde cuatro tornos CNC se encargan del mecanizado de las piezas (Imagen 7).



Imagen 6: Material en bruto.



Imagen 7: Vista general estaciones de mecanizado.

Tras el proceso de mecanizado, las piezas siguen avanzando por las cintas transportadoras hasta llegar a la montadora (Imagen 8), donde tapa y base se unen para formar una única pieza (Imagen 9).



Imagen 8: Vista general montadora.



Imagen 9: Producto resultante de unir tapa y base.

Terminada esta etapa, las piezas resultantes continúan su avance hasta llegar a los puntos de clasificación/empujadores (Imagen 10) donde cada pieza seguirá un camino u otro en función del tipo de pieza del que se trate.



Imagen 10: Vista general empujadores.

Las piezas con tapa de color verde o azul se encaminarán hacia las paletizadoras (Imagen 11); existe una paletizadora para las piezas con tapa de color azul (producto 1) y otra para las piezas con tapa de color verde (producto 2).



Imagen 11: Vista general paletizadoras.

La finalidad de las paletizadoras será agrupar las cajas que contengan el mismo tipo de piezas sobre los pallets (Imagen 12).



Imagen 12: Pallet cargado.

Las piezas con tapa de tipo metálico (producto 3) se encaminarán hacia la apiladora, siendo su finalidad muy similar a la de la paletizadora, pero debido al mayor peso del producto 3, el número de cajas por pallet y su distribución en él será diferente.



Imagen 13: Vista general apiladora

Depositadas las cajas sobre los pallets, estos seguirán su avance a través de la manutención de rodillos hasta el almacén automatizado, que situará los pallets con las piezas fabricadas en diferentes estantes en función del tipo de piezas que contengan (Imagen 14). Finalmente, y a elección del usuario, los pallets podrán ser sacados del almacén para extraerlos definitivamente del proceso productivo.



Imagen 14: Vista general almacén automatizado

2.3 Etapas de diseño del proceso productivo

Durante la fase de diseño del layout de la línea de fabricación se han ido desarrollando diferentes modelos hasta alcanzar la configuración que se ha descrito. Las sucesivas modificaciones han buscado reducir las distancias de desplazamiento de los productos sobre las mantenciones, evitar cuellos de botella, buscar la polivalencia del proceso o reducir el tiempo de ciclo de las máquinas.

A continuación, se describen algunas de las modificaciones más significativas que se han realizado para optimizar el proceso:

1. Incorporación de dos nuevos tornos a los ya existentes.

Inicialmente el proceso disponía únicamente de dos tornos, uno para el mecanizado de tapas y otro para el mecanizado de bases. El problema se encontraba en que los tiempos de ciclo de cada una de estas máquinas eran muy elevados en comparación con el resto de las máquinas del proceso, lo que se traducía en un cuello de botella. Dado que la disminución del tiempo de ciclo de cada una de las máquinas individualmente no era posible (por limitaciones de Factory IO), se optó por duplicarlas (Imágenes 15 y 16). De este modo el tiempo de ciclo del conjunto se reducía a la mitad, es decir, en el mismo periodo de tiempo, el número de piezas obtenidas era el doble.

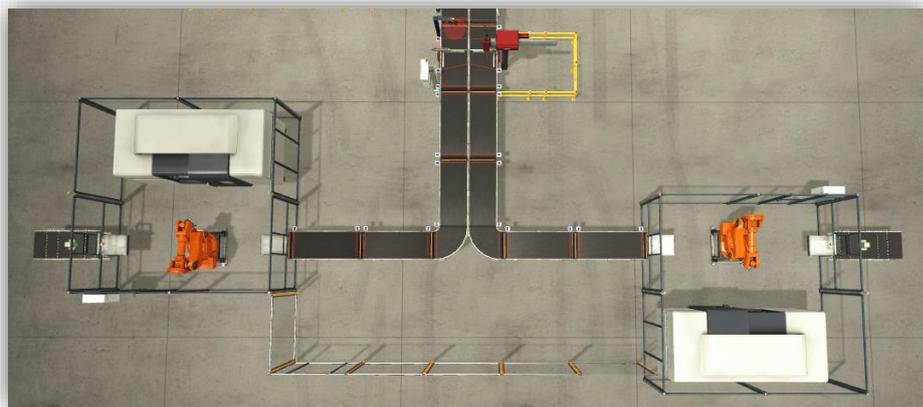


Imagen 15: Configuración inicial con dos tornos

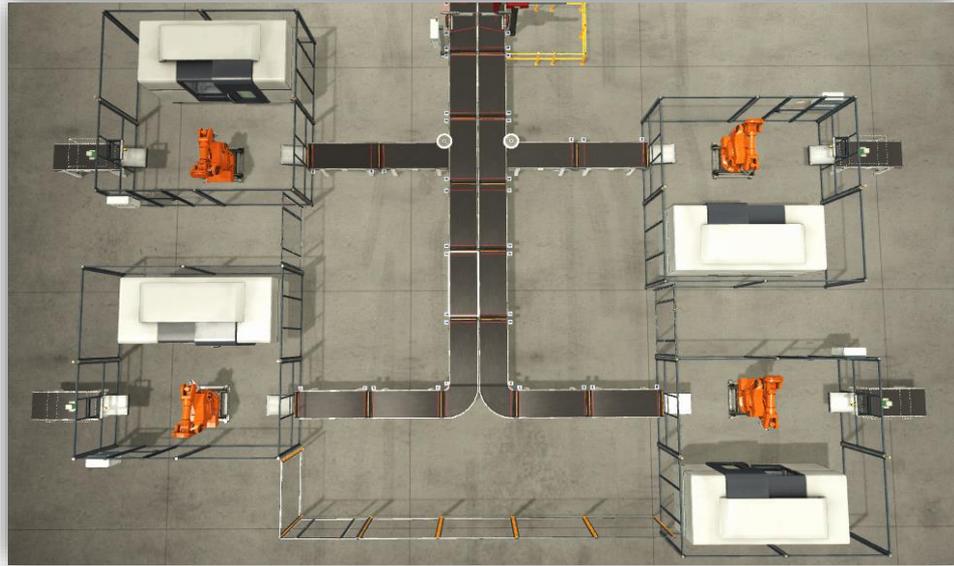


Imagen 16: Configuración final con cuatro tornos.

2. Introducción de un segundo robot en el almacén

En un principio la introducción y extracción de pallets del almacén se realizaba con un único robot, esto suponía que en las situaciones en las que se deseara extraer pallets de forma continuada, se producía una acumulación de pallets en la entrada del almacén que podía llegar a saturar la manutención. Es por ello que se optó por la incorporación de un segundo robot, de modo que con esta modificación (Imagen 17) las operaciones de introducción y extracción de pallets se realizan de manera independiente por lo que se evitan las posibles saturaciones a la entrada del almacén.

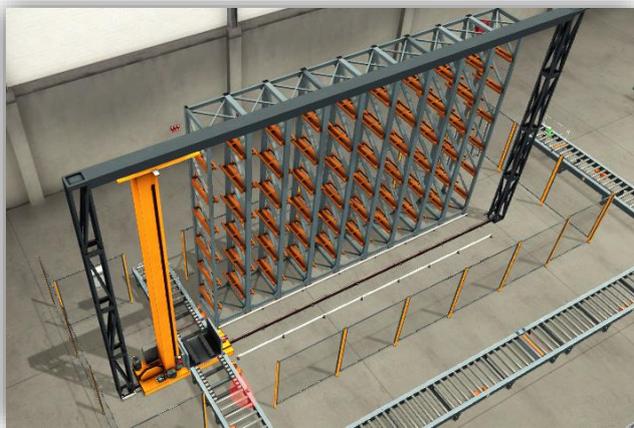


Imagen 17: Situación inicial y final almacén.

3. Modificación de las intersecciones de la manutención pesada:

La manipulación de los pallets con las cajas apiladas sobre ellos es delicada dado que no existe ningún elemento de fijación entre las cajas más que la gravedad. En un principio, para los puntos donde se producían intersecciones de la manutención de rodillos, se utilizó un tipo especial de transportador que combinaba cadenas y rodillos (Imagen 18A). El problema de este tipo de transportadores era que provocaban aceleraciones bruscas y vibraciones, lo que se traducía en la descolocación de las cajas y en ocasiones caídas de alguna. Por esta razón se sustituyó este primer tipo de transportador por mesas de giro (Imagen 18 B) que eran de mayor tamaño, pero permitían una manipulación más suave de los pallets.

Las diferencias de tamaño del diseño inicial y final de los cruces supuso también rediseñar algunas zonas de la manutención como se puede observar en la Imagen 19.

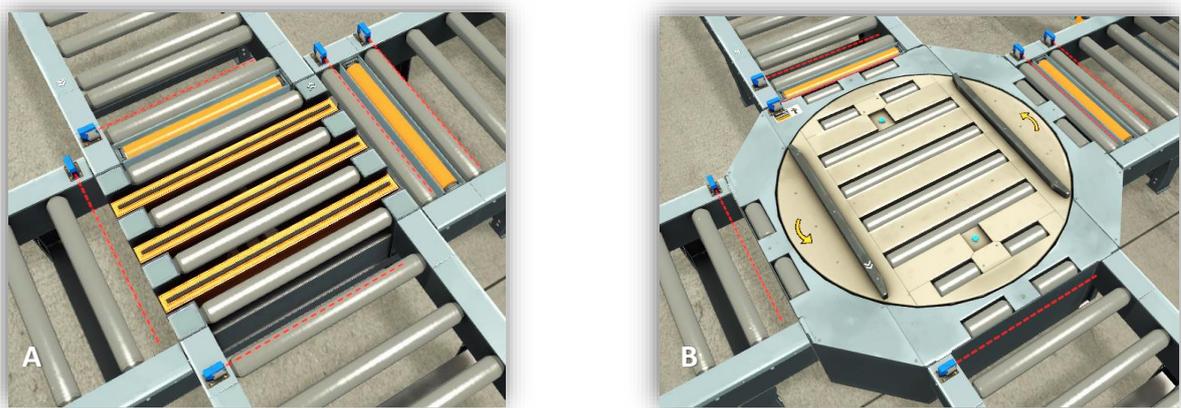


Imagen 18: Diseño inicial y final de un cruce en la manutención pesada.



Imagen 19: Prolongación del nivel superior de la manutención ligera para evitar colisión con la mesa de giro.

4. Inclusión de topes en las mantenciones

En un comienzo las cintas transportadoras se comportaban como un elemento único, de modo que, o bien todas las cintas estaban en funcionamiento o todas las cintas estaban paradas. Cuando una pieza llegaba a una máquina, todas las cintas anteriores a esa máquina se detenían. Esto suponía una gran ineficiencia que en última instancia se traducían en una disminución de la capacidad de producción del proceso.

La inclusión de topes en las cintas transportadoras permite que las piezas puedan seguir avanzando hasta que el tramo de cinta al que vayan a acceder esté ocupado por otra pieza; es en este caso cuando el tope bloquea el avance de la pieza. Esta forma de funcionamiento, así como su programación se describe más detalladamente en el apartado 3.5.1.

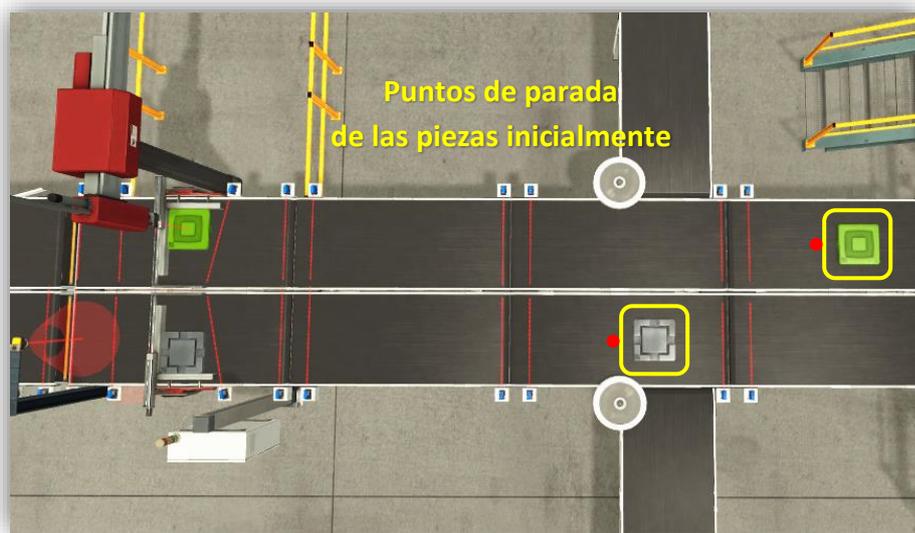


Imagen 20: Diseño de la mantención sin topes.

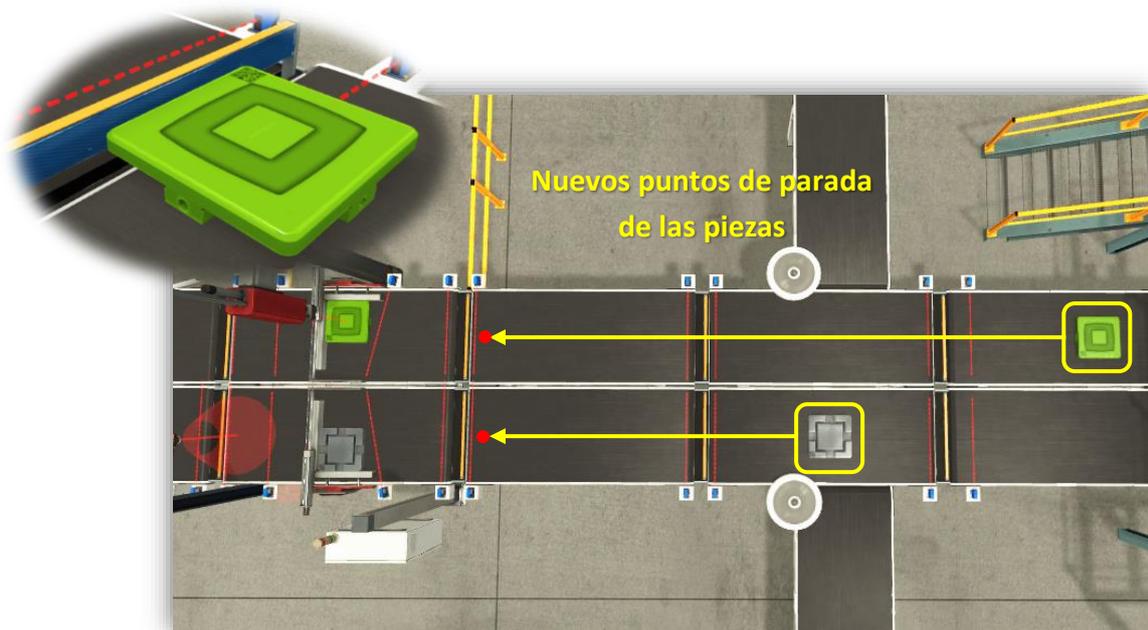


Imagen 21: Diseño de la mantención con topes.

2.4 Partes del modelo

2.4.1 Mantenciones ligera y pesada

De modo general, se puede entender por *manutención industrial* todas aquellas operaciones de transporte y técnicas de manipulación de material a lo largo de un proceso productivo. Además de transportar y manipular elementos, permiten regular los flujos del material y optimizar tiempos de trabajo.

Para el caso del presente TFM, se pueden diferenciar dos tipos de mantenciones: ligera y pesada.

- **Manutención ligera:** Se trata de un sistema de manutención cuyo elemento principal son las cintas transportadoras. En su funcionamiento más simple constan de una banda que es desplazada por fricción entre dos tambores unidos a uno o varios motores. En general están destinadas a transportar productos de pequeño tamaño, pesos reducidos y cuyas geometrías pueden ser muy variables. Esto es por lo que este tipo de manutención será la utilizada para las piezas del proceso productivo.
- **Manutención pesada:** En este tipo de manutención el elemento principal son los transportadores de rodillos. Como su nombre indica, están constituidos por una serie de rodillos sobre los cuales se desplazan las cargas. Dichos rodillos pueden girar libremente o estar motorizados. En general, están destinados al transporte de productos de mayor peso, mayor volumen y que no presenten geometrías complejas o deformables. Por esta razón, el transporte de los pallets, tanto cargados como vacíos, se realizará con este tipo de manutención.

Ambos tipos de manutención disponen de varios elementos comunes adaptados a las características de las cargas que transportan. A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de ellos y de su utilidad:

- **Transportadores lineales:** Son los elementos más sencillos, su finalidad es desplazar linealmente un determinado producto. Están disponibles en distintas longitudes: 2, 4 y 6 metros.



Imagen 22: Transportador lineal ligero (izquierda) y pesado (derecha).

- **Transportador de cinta inclinado:** Sólo disponible en la manutención ligera. Permite realizar desplazamientos de piezas entre transportadores lineales que se encuentren a diferentes alturas.



Imagen 23: Transportador de cinta inclinado.

- **Transportador curvo:** Permiten que la carga transportada realice un giro de 90° en su dirección de avance.



Imagen 24: Transportadores curvos.

- **Topes:** Son capaces de detener el avance de los pallets o piezas que se desplazan por la manutención sin la necesidad de detener el funcionamiento de los transportadores lineales. Su posición por defecto es normalmente bajada, y se activan neumáticamente.



Imagen 25: Topes.

- **Mesa de giro:** Elemento destinado al direccionamiento de pallets en aquellos puntos en los que confluyen varios ramales de una manutención lineal pesada.

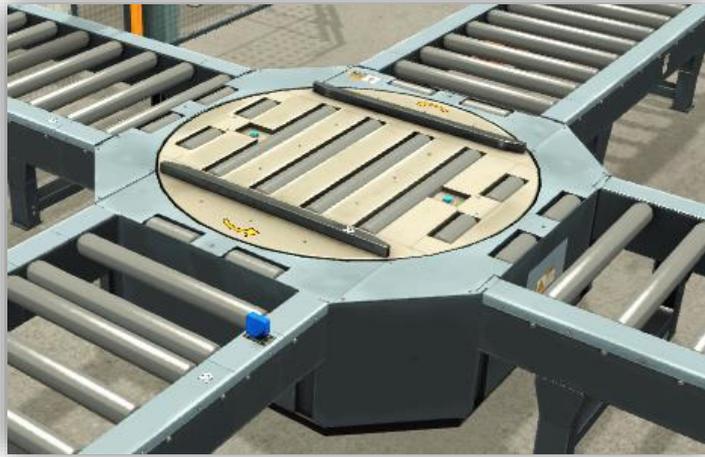


Imagen 26: Mesa de giro.

2.4.2 Máquinas de proceso

Estación de mecanizado:

Se encuentran al inicio del proceso productivo y son las encargadas del mecanizado del producto en bruto. En total hay cuatro estaciones, dos destinadas al mecanizado de tapas y otras dos destinadas al mecanizado de bases. El proceso está completamente automatizado, la pieza en bruto es cogida por un robot e introducida en la estación de mecanizado. Al terminar el tiempo de mecanizado, la pieza es nuevamente cogida por el robot y depositada sobre la cinta de salida.



Imagen 27: Estación de mecanizado.

Montaje:

Máquina destinada a realizar el ensamblado de las dos piezas que constituyen el producto final; base y tapa. Los elementos principales que constituyen esta máquina son un robot de tipo cilíndrico (Imagen 29) y dos garras posicionadoras. El robot permite coger las tapas que llegan por la cinta de la derecha de la Imagen 28 y depositarlas sobre las bases que llegan por la cinta izquierda. Las garras posicionadoras cumplen la finalidad de sujetar y evitar que las piezas se muevan durante el proceso de funcionamiento.

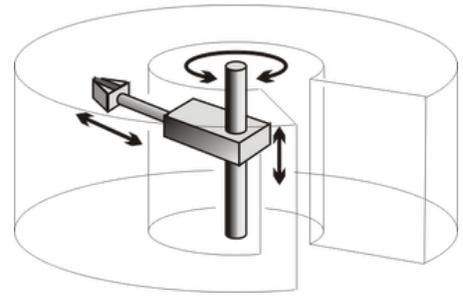


Imagen 29: Esquema cinemático robot tipo cilíndrico.

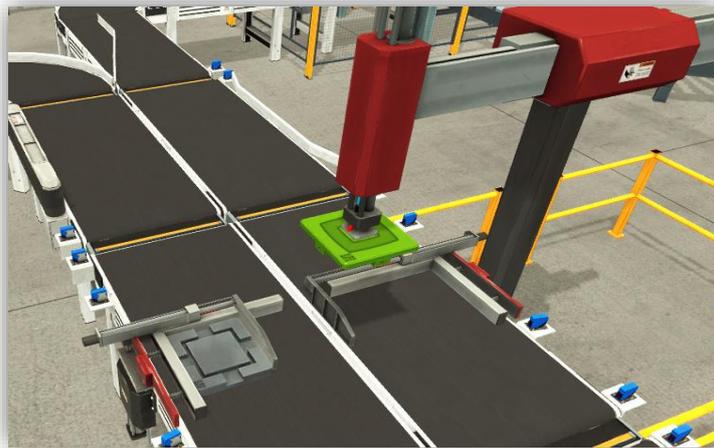


Imagen 28: Estación de montaje.

Empujadores:

Se trata de un conjunto de máquinas o accionamientos destinados a la clasificación de las diferentes piezas del proceso, según el tipo de tapa que presentan. Los caminos seguidos por cada uno de los productos se pueden observar en la Imagen 30.

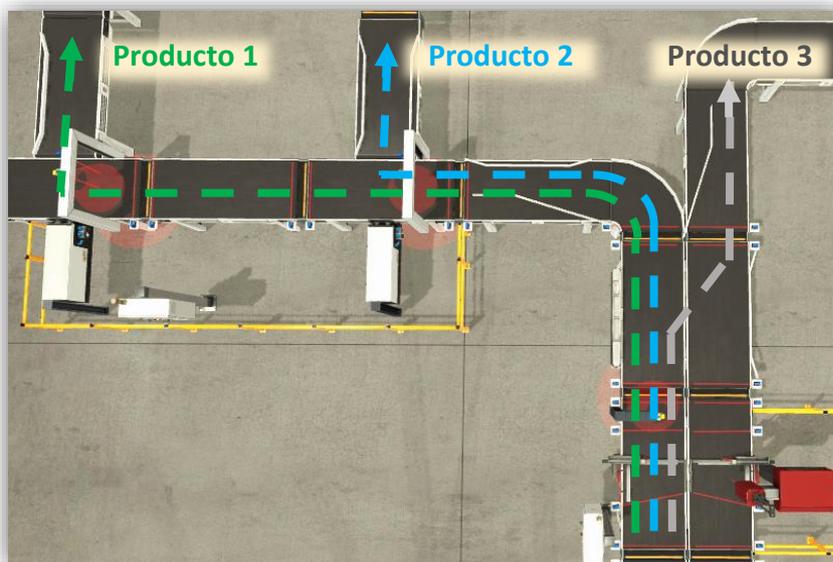


Imagen 30: Caminos seguidos por los diferentes productos.

Apiladora:

La apiladora es una maquina destinada a la manipulación de las cajas que contienen los productos de tapa metálica para su colocación sobre pallets. Su elemento principal es un robot de tipo cartesiano (Imagen 31). En este tipo de robots las tres primeras articulaciones son de tipo prismático y ortogonales entre sí, de modo que su espacio de trabajo presenta forma cúbica. Además, el extremo del robot presenta a mayores otro grado de libertad por medio de una articulación de rotación en la dirección del eje Z, que permite orientar angularmente la pieza cogida.

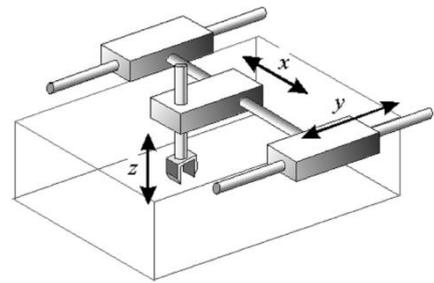


Imagen 31: Esquema cinemático de un robot cartesiano.

Debido al elevado peso de los productos de tapa metálica, el número máximo de cajas por cada pallet es tres, aunque existe la posibilidad de reducir este número desde el pupitre de control como se verá en el apartado 3.7.4 destinado al análisis del funcionamiento de la apiladora.

Las cajas llegan a la estación por medio de la manutención ligera y son transferidas por medio del robot cartesiano a los pallets que acceden a la máquina a través de la manutención pesada (Imagen 32). Una vez completamente cargado, el pallet sigue su camino hacia el almacén.

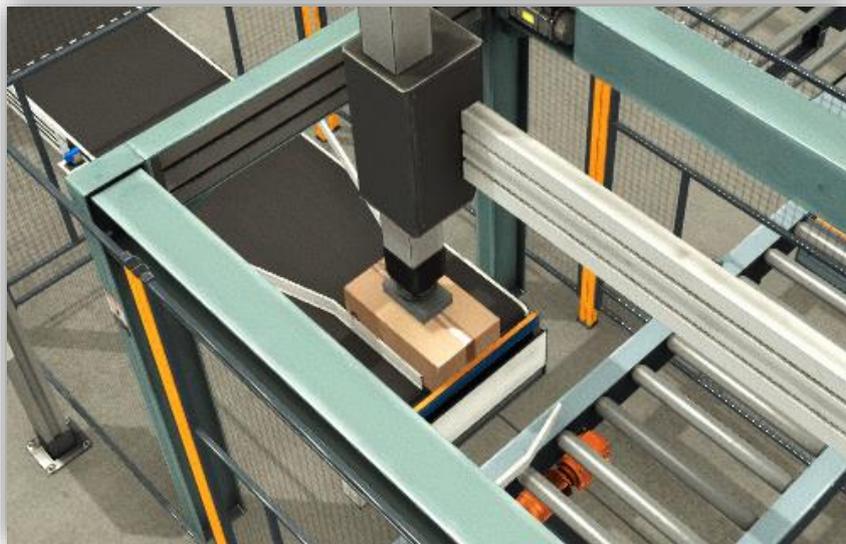


Imagen 32: Apiladora.

Paletizadora:

La paletizadora es otra de las máquinas destinadas a ordenar las cajas que contienen los productos fabricados y colocarlas sobre los pallets siguiendo una determinada configuración. En esta ocasión y debido al menor peso de los productos de tapa azul y verde, el número de cajas por pallet está limitado a 18, aunque al igual que en la apiladora, este valor es modificable. De este modo se facilita el transporte y manipulación de los pallets.

Existen dos paletizadoras en el proceso, una destinada a los productos de tapa verde y otra a los de tapa azul. Cada una de ellas presenta dos puntos de entrada: uno por el que acceden las cajas que llegan a través de la manutención ligera y otro por el que acceden los pallets vacíos que llegan a través de la manutención pesada, es decir, en la paletizadora se produce una confluencia de los dos tipos de manutención existentes en el proceso.



Imagen 33: Paletizadora.

Una vez que las cajas han sido depositadas sobre el pallet, el conjunto sale de la máquina a través de la manutención pesada para seguir su camino hacia el almacén.

Almacén:

El almacén constituye el punto de destino de todos los productos fabricados en el proceso y consta de un conjunto de 54 estantes donde se podrán depositar los pallets cargados.

La colocación de los pallets en sus respectivos estantes se realiza de forma automatizada, de modo que los estantes y el sistema de colocación forman un transelevador de tipo unilateral. La principal ventaja de este tipo de sistemas de almacenaje automático es la optimización del espacio, consiguiendo densidades del almacenaje muy elevadas.



Imagen 34: Almacén automatizado.

El almacén se encuentra estructurado en tres diferentes zonas, una para cada tipo de producto. Estas zonas están seleccionadas de manera estratégica de modo que los productos más pesados, como es el caso de los productos de tapa metálica se ubiquen en las zonas inferiores del almacén, con el fin de favorecer la estabilidad del conjunto.

Las zonas en las que se encuentra dividido el almacén son las que pueden observarse en la Imagen 35; en la zona 1 se ubican los productos de tapa metálica, en la zona 2 los de tapa azul y en la zona 3 los de tapa verde.

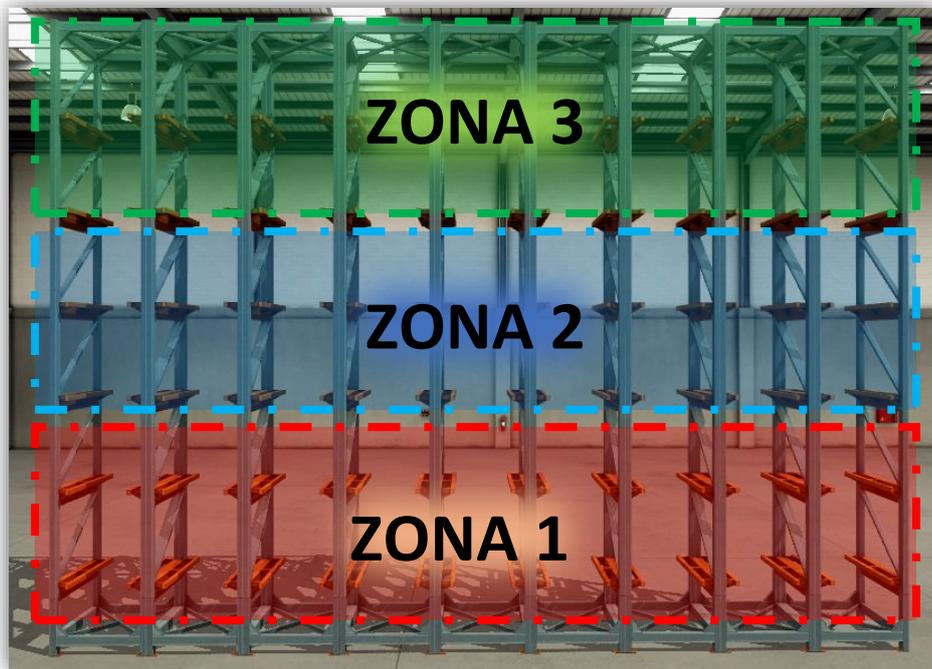


Imagen 35: Zonas del almacén.

Del mismo modo que los productos se pueden guardar en el almacén también se pueden sacar de él. Para la extracción de los pallets se dispone de otra grúa que funciona de manera simultánea a la grúa encargada de la introducción de los pallets. Es por ello que será de suma importancia una automatización precisa para evitar posibles choques por acceder a un mismo estante de manera simultánea, como se verá en el Capítulo 3.

RFID:

RFID son las siglas de Radio Frequency Identification, que en español significan: identificador por radiofrecuencia. Este tipo de sistemas están destinados al control y el seguimiento de la producción, con el fin de que la gestión de los activos sea mucho más eficiente.

Cuenta con dos elementos principales, por un lado, un soporte físico donde poder guardar la información, al que comúnmente se denomina etiqueta y por otro lado, un dispositivo que realiza las operaciones de lectura/escritura, al que normalmente se le denomina únicamente lector o sensor. Cada una de las cajas y pallets del proceso llevan una de estas etiquetas, de modo que sobre estas etiquetas se podrá guardar diversa información relevante sobre el proceso productivo.

En las Imagen 36 A y B se pueden observar un lector y varias etiquetas RFID respectivamente.



Imagen 36: Lector y etiquetas RFID.

2.4.3 Sensores

Sensor capacitivo: Actúa como un sensor de proximidad para la detección cercana de elementos independientemente del material del que estén hechos. Proporciona una salida analógica cuyo valor depende de la proximidad del objeto. También ofrece la posibilidad de funcionar como sensor de presencia todo o nada.

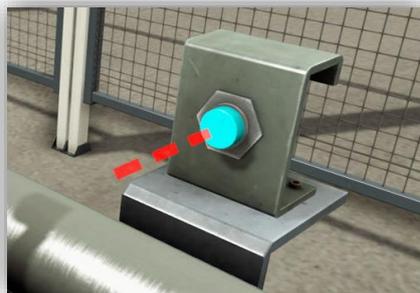


Imagen 37: Sensor capacitivo.

Sensor fotoeléctrico: Actúa como un sensor de presencia con un rango mucho más amplio que los sensores capacitivos.



Imagen 38: Sensor fotoeléctrico.

Cámara de visión artificial: Dispositivo capaz de identificar el tipo de pieza que se encuentra delante de su objetivo a partir de la captura de una imagen. Proporciona una salida de tipo analógico cuyo valor depende del tipo de pieza identificada.



Imagen 39: Cámara visión artificial.

Capítulo 3:

TIA Portal

En este capítulo se aborda el análisis de TIA Portal como herramienta utilizada para desarrollo de la programación que permite la automatización y buen funcionamiento del proceso productivo. Se expondrá el método general de automatización desarrollado y se analizará el funcionamiento concreto de cada una de las máquinas.

Para la comprensión de este capítulo se considera recomendable tener ciertos conocimientos básicos en la terminología y uso del programa. Por ello, en el Anexo 2 se incluyen algunas definiciones de conceptos básicos que pueden facilitar la comprensión de algunas de las explicaciones para aquellas personas no conocedoras del software.

3.1 Acerca de TIA Portal

TIA Portal son las siglas de Total Integrated Automation Portal, un software desarrollado por Siemens y lanzado al mercado en 2009.

Siemens define TIA Portal como un software que permite *“que los usuarios puedan llevar a cabo la ingeniería, puesta en marcha, operación y monitorización de todos los componentes de automatización y accionamientos a través de una única plataforma de control”*.

3.2 Modelo de programación

En cualquier proceso productivo automatizado, las máquinas que forman parte de él, no siempre se encuentran en condiciones de poder estar funcionando de manera automática y completamente autónoma, sino que a lo largo de su funcionamiento es muy probable o prácticamente seguro que se produzcan situaciones como averías, entradas al proceso de productos defectuosos, fallos humanos, entre otros.

Todas estas situaciones deben ser contempladas a la hora de realizar la programación con el fin de que la máquina o automatismo en cuestión, sea capaz de actuar de un modo u otro dependiendo del tipo de contingencia que se presente.

Para poder estructurar de una forma universal cada uno de estos modos de funcionamiento según el estado en que se encuentre una máquina, la ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Productique Appliquée à l'industrie) Agencia nacional francesa para el desarrollo de la producción aplicada a la industria, desarrolló la guía GEMMA, cuyas siglas traducidas al español significan *“Guía de estudio de los modos de marcha y parada”*. Esta guía presenta una gran cantidad de modos de funcionamiento estructurados en grupos y será tarea del automatista, realizar la selección de aquellos que considere más adecuados y convenientes para la máquina que se vaya a automatizar.

A continuación, se describen cada uno de los modos de funcionamiento que presentan las máquinas del proceso y en la Imagen 40 se puede observar un esquema del modo en que se interrelacionan cada uno de ellos.

Grupo A: Procedimientos de parada

A1 – Parada en el estado inicial: Estado de reposo de la máquina. Estado que normalmente se representa en planos de construcción y esquemas eléctricos.

A2 – Parada a final de ciclo: Estado en el que se encuentra la máquina tras haber solicitado que se detenga una vez que termine las operaciones que está realizando.

A5 – Preparación posterior al defecto: Es en este estado en el que se procede a realizar las operaciones necesarias para poder reestablecer el funcionamiento de la máquina tras un defecto. Vaciado, reposición de un determinado producto, retirada de productos del proceso, etc.

A6 – Transición a estado inicial: Estado en el que la máquina se encuentra realizando los movimientos necesarios para poder volver su posición inicial tras un defecto.

Grupo F: Procedimientos de funcionamiento

F1 – Producción normal: Estado en el que la máquina se encuentra cuando está realizando las operaciones para las que ha sido desarrollada.

Grupo D: Procedimientos de defecto

D1 – Parada de emergencia: Estado que se alcanza tras producirse una parada de emergencia. Tras este estado deberán realizarse todos los procedimientos para poder volver a poner en servicio la máquina.

D2 – En defecto: Estado alcanzado tras la ocurrencia de un defecto que impide a la máquina seguir produciendo con normalidad.

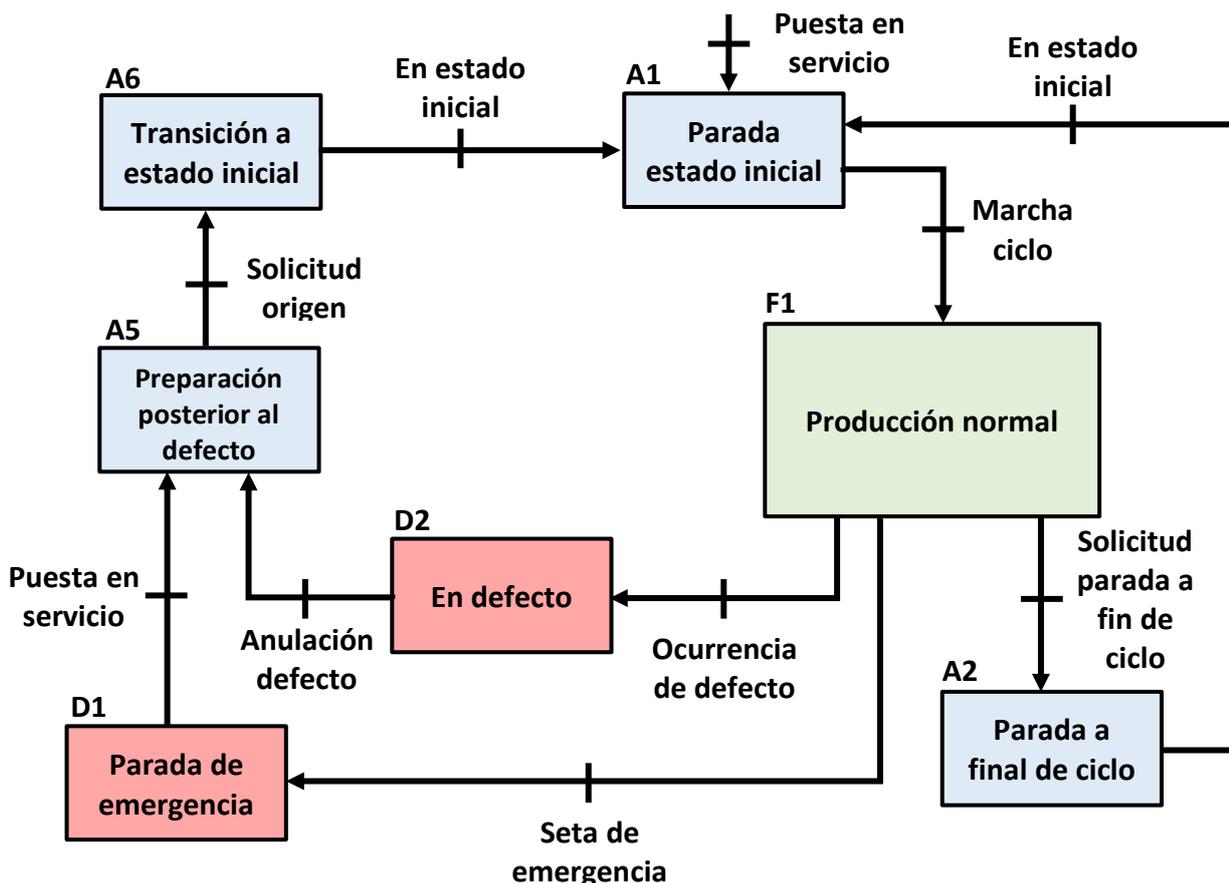


Imagen 40: Modos de funcionamiento

3.3 Estructura del programa

Para la automatización del proceso productivo se ha seguido una programación estructurada de tipo modular, dividiendo el proceso global en distintos módulos correspondiendo cada uno de ellos a cada una de las máquinas que forman el proceso productivo.

Cada una de estas máquinas viene representada por una función y dentro de ella se estructura todo el funcionamiento de la máquina mediante funciones (FC), bloques de función (FB) y bases de datos (DB) ¹. En la Imagen 41 se puede ver una representación esquemática de la estructura descrita anteriormente.

Cada uno de los bloques de programación que forman parte de una máquina llevan asociado un número de modo que el número que representa las decenas identifica la máquina y el número que representa las unidades, identifica al bloque de programación dentro de esa máquina.

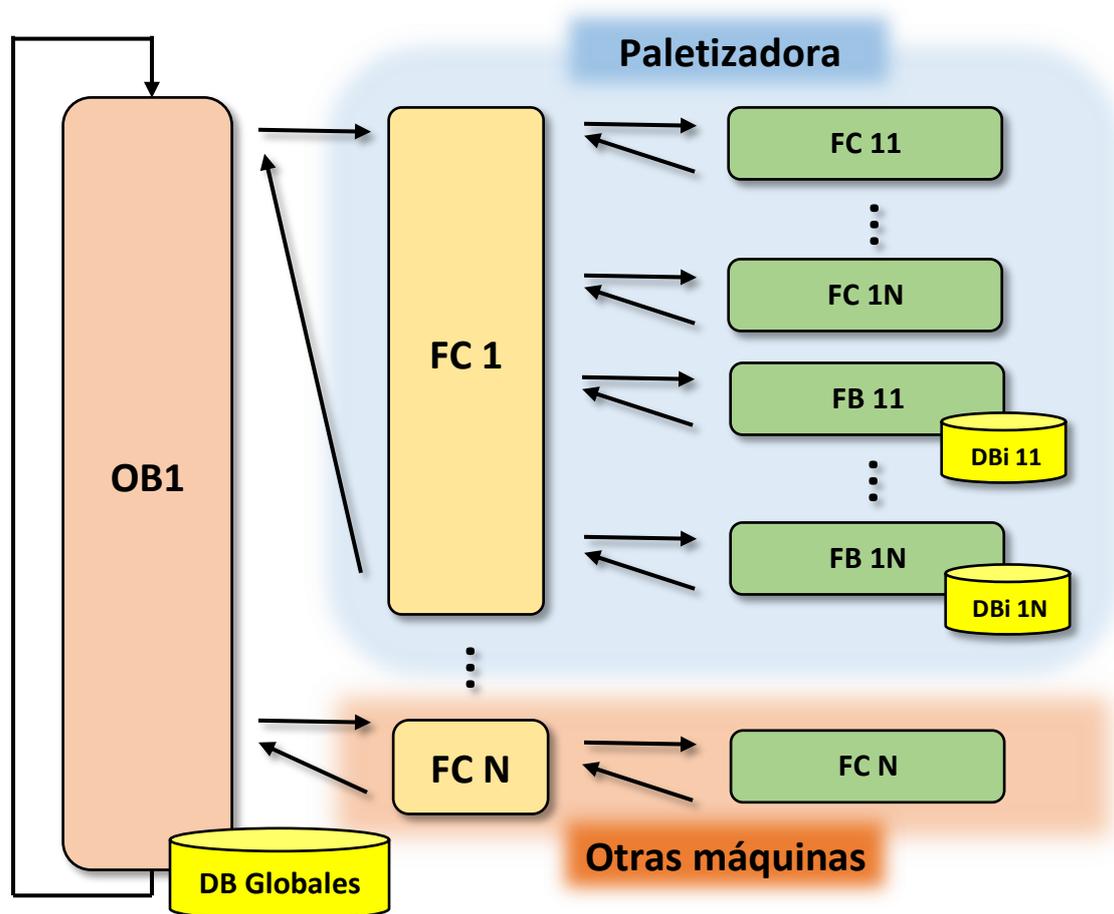


Imagen 41: Estructura esquemática del programa.

Prácticamente la totalidad de la programación se ha desarrollado en el lenguaje KOP a excepción de algunas partes en la programación del almacén que han sido programadas en SCL.

¹ Ver definiciones en Anexo 2.

Para analizar el programa por completo se presenta a continuación el análisis de cada una de las máquinas de manera individual, con el fin de facilitar al lector la comprensión del funcionamiento del proceso productivo en su conjunto.

3.4 Pupitres de control

Los pupitres de control son un elemento indispensable en cualquier tipo de máquina automatizada, ya que permiten al operador, el control de las transiciones entre los distintos modos de funcionamiento que presenta la máquina.

Dado que el funcionamiento de los pupitres de control de las máquinas es muy parecido en todas ellas salvo pequeñas variaciones, se explica en un mismo lugar su funcionamiento y se matizará en cada una de las máquinas las posibles variaciones que puedan existir.

Todos los botones y selectores de los que disponen los pupitres, así como sus respectivos nombres, pueden verse en la Imagen 43. La utilización de estos botones en secuencias definidas, permiten realizar la alternancia entre los diferentes modos de funcionamiento mencionados en el apartado 3.2.



Imagen 42: Vista general de un pupitre de control



Imagen 43: Botones pupitre de control.

El primer paso para arrancar una máquina será su puesta en servicio (PES), sin ella, la máquina no podrá realizar ningún tipo de movimiento. Es importante que, al arrancar la máquina, no entre a funcionar inmediatamente, es por lo que la puesta en servicio se deberá realizar con el modo manual seleccionado, de lo contrario no se podrá poner en servicio la máquina.

Por tanto, el modo de proceder será el siguiente:

- Seleccionar Modo Manual; el botón PES empezará a lucir de manera intermitente.
- Pulsar el botón de puesta en servicio (PES), la iluminación intermitente pasará a ser fija.

Siempre que la puesta en servicio esté introducida este botón luminoso permanecerá encendido



Imagen 44: Procedimiento puesta en servicio.

Introducida la puesta en servicio, el segundo paso será poner en funcionamiento la máquina en modo automático, para ello:

- Girar el selector a la posición de Modo Automático; la luz del botón de Marcha ciclo comenzará a parpadear.
- Pulsar el botón Marcha Ciclo.



Imagen 45: Procedimiento marcha ciclo.

Del mismo modo que para la puesta en servicio; siempre que la máquina esté funcionando en modo automático la luz del botón de Marcha Ciclo permanecerá encendida de manera constante.

Llegados a este punto la máquina estará funcionando en estado de producción normal. Durante el funcionamiento de la máquina es posible que se produzca algún defecto, si esto ocurre la máquina dejará de funcionar en modo automático y se deberá proceder a tratar el defecto que haya ocurrido. Para ello se seguirá el siguiente procedimiento:

- Girar el selector a Modo Manual.
- Extraer de la máquina, la pieza que haya generado el defecto.
- Pulsar el botón Origen para devolver la máquina a su posición inicial.
- Repetir las operaciones para el funcionamiento de la máquina en modo automático (descritas anteriormente).

Existe la posibilidad también de que se deba realizar una parada de emergencia de la máquina, para ello se dispone de una seta de emergencia (Imagen 46) que al activarse quita la puesta en servicio de la máquina y se detiene de manera inmediata.



Imagen 46: Seta de emergencia.

Otra situación que puede producirse, es que se desee que la máquina se detenga de manera controlada en su posición de origen, con el fin de realizar tareas de mantenimiento, ajuste de algún elemento o cualquier otra tarea. Para ello, bastará con pulsar el botón “Parada a final de ciclo” y la máquina se detendrá en su posición de origen una vez que realicé todas las operaciones.

Existe un último botón que tiene la finalidad de comprobar el funcionamiento del resto de botones, y es el *test de lámparas*. Al pulsar este botón, todos los botones del pupitre de control se iluminan, lo que garantiza que están funcionando correctamente. Si alguno no se iluminara, se debería proceder a su sustitución.

Al margen de todos los botones disponibles, existe un último elemento en el pupitre de control que es la baliza luminosa. Se encuentra situada encima del pupitre de control y se trata de un dispositivo luminoso que permite conocer el modo de funcionamiento de la máquina por medio de un código de colores.

- **Rojo fijo:** Máquina parada sin puesta en servicio.
- **Rojo parpadeante:** Máquina parada debido a un defecto.
- **Verde fijo:** Máquina en servicio en modo automático (producción normal)
- **Verde parpadeante:** Máquina en servicio en modo manual.

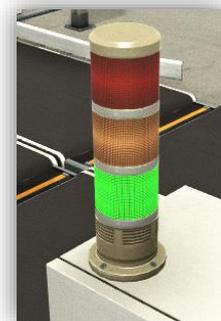


Imagen 47: Baliza luminosa.

3.5 Mantenimiento ligera

Este módulo es el encargado de gestionar la totalidad de cintas transportadoras y topes que conforman la mantenimiento ligera. Dentro de la mantenimiento ligera podemos diferenciar: Cintas lineales e intersección de cintas

3.5.1 Cintas lineales:

En esta configuración, las cintas se encuentran dispuestas una a continuación de la otra. El acceso de una pieza a una cinta está permitido siempre y cuando no haya presente una pieza en la cinta a la que se intenta acceder. Dicho acceso se gestiona mediante topes, los cuales al elevarse bloquean las piezas, imposibilitando su avance a la siguiente cinta (Imagen 48).

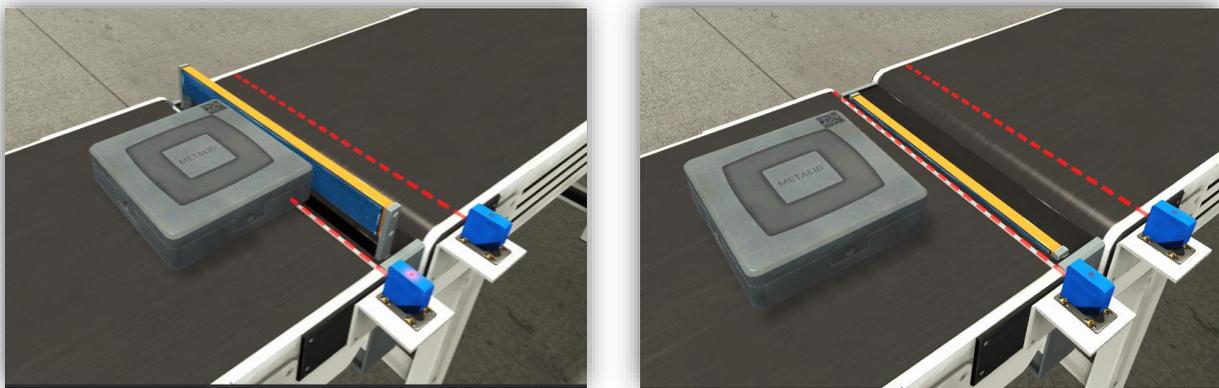


Imagen 48: Tope elevado y recogido en el acceso a una cinta.

El control de la ocupación de una cinta y del tope que regula el acceso a ella, se encuentra programado en la FC7. Para controlar la posición del tope (subido o bajado) es necesario conocer el estado de ocupación de la cinta anterior y posterior a ese tope (Imagen 49).

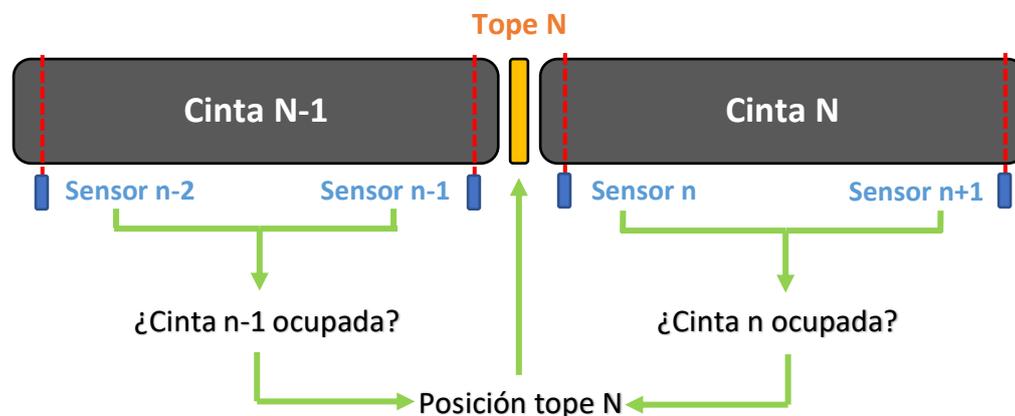


Imagen 49: Esquema funcionamiento tope lineal.

Las condiciones bajo las que se produce la elevación del tope se encuentran recogidas en la Tabla 1. Como se puede observar, el tope N sólo se elevará si la cinta N está ocupada y la que le precede, cinta N-1, también lo está. Esto se debe a que no tendría sentido bloquear el

acceso a una cinta, si la cinta que le precede está vacía. Esta configuración busca evitar la realización de ciclos innecesarios de subida y bajada del tope, que puedan acortar su vida útil.

¿Cinta n ocupada?	NO	NO	SÍ	SÍ
¿Cinta n-1 ocupada?	NO	SÍ	NO	SÍ
Tope	Bajado	Bajado	Bajado	Subido

Tabla 1: Condiciones de activación de un tope en cintas lineales.

Para poder saber si una cinta está ocupada, se dispone de sensores de presencia a la entrada y la salida de las cintas, de modo que una cinta N está ocupada, si el sensor de la entrada (sensor n) se ha activado, pero aún no lo ha hecho el sensor de la salida (sensor n+1).

Como se vio en la Imagen 49, la posición del tope N, viene determinada por el estado de ocupación de la cinta anterior y posterior al tope. El problema es que la ocupación de la cinta N-1 se controla en una FB distinta a la que controla la ocupación de la cinta N; es por ello que todas las cintas del proceso productivo se encuentran interconectadas, de forma que las salidas de la FB que controlan la cinta N-1 constituyen las entradas de la FB que controla la cinta N. Esta explicación viene representada esquemáticamente en la Imagen 50.

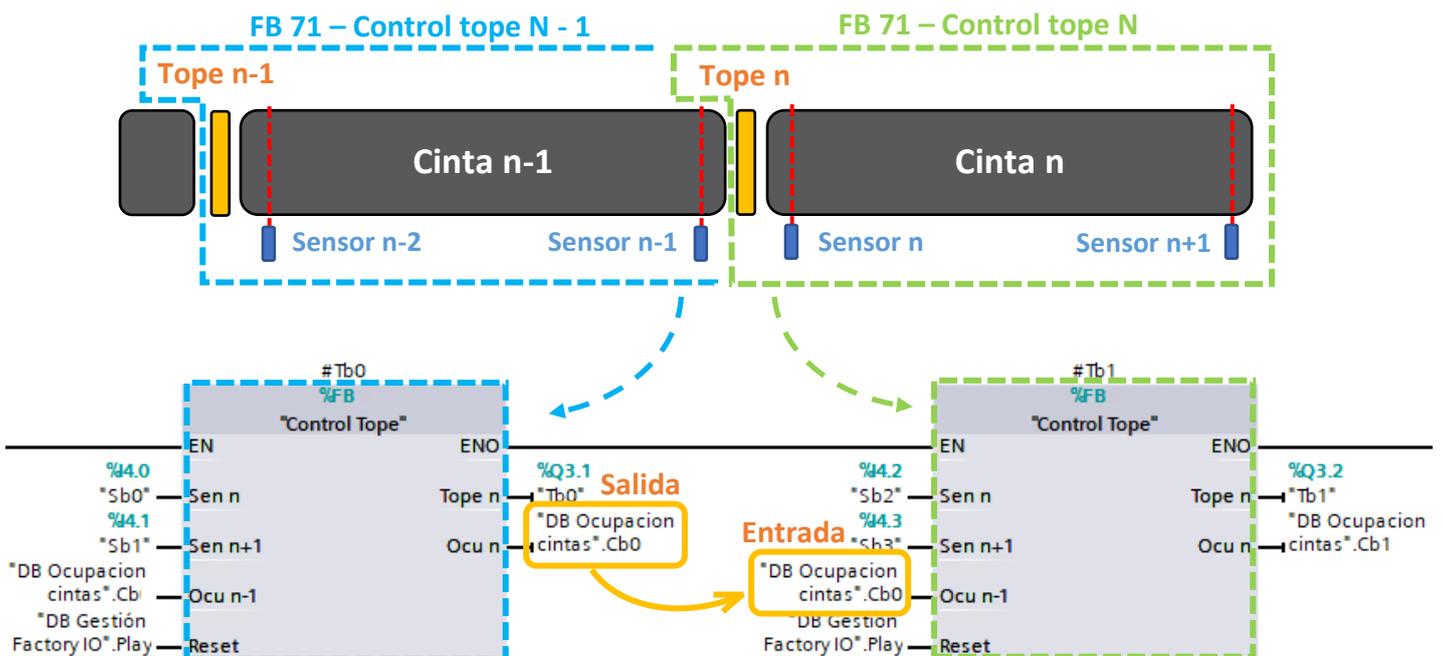


Imagen 50: Interconexión FBs control tope.

3.5.2 Intersección de cintas:

Son los puntos en los que se produce una confluencia a 90° de cintas de tipo lineal. En este tipo de intersecciones se diferencian dos ramales, por un lado el ramal principal, aquel que tiene la misma dirección que la cinta tras la intersección, y el ramal secundario, que confluye con el principal a 90° (Imagen 51)

Del mismo modo que en las cintas del tipo lineal, el acceso al cruce se encuentra gestionado mediante topes que al elevarse bloquearan el avance de la pieza. La gestión de estos topes es algo más compleja que en las cintas de tipo lineal debido a que se puede acceder a una misma cinta por dos ramales. Las condiciones en las que se produce la elevación de los topes se encuentran reflejada en la Tabla 2.

Como se puede observar en dicha tabla, en caso de confluencia de dos piezas que tratan de acceder al cruce, el tope del ramal secundario será el que se eleve dando preferencia a la pieza que accede por el ramal principal. Se debe observar también, que a pesar de que en el cruce haya una pieza, los topes de las cintas que dan acceso al cruce no se elevarán hasta que esas cintas estén ocupadas.

¿Cinta C1 n ocupada?	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
¿Cinta C1 n-1 ocupada?	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
¿Cinta C1 n-1 ocupada?	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ
Topo C1	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
Topo C2	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ

Tabla 2: Condiciones de activación de un tope en cruces.

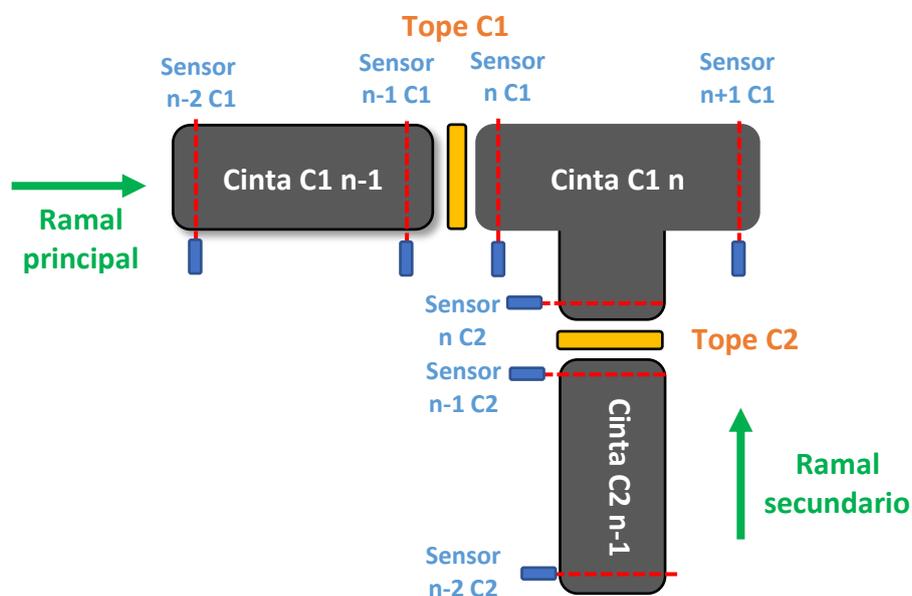


Imagen 51: Esquema funcionamiento de una intersección.

Las entradas y salidas que presenta la FB que gestiona el acceso a la intersección de cintas puede verse en la Imagen 52.

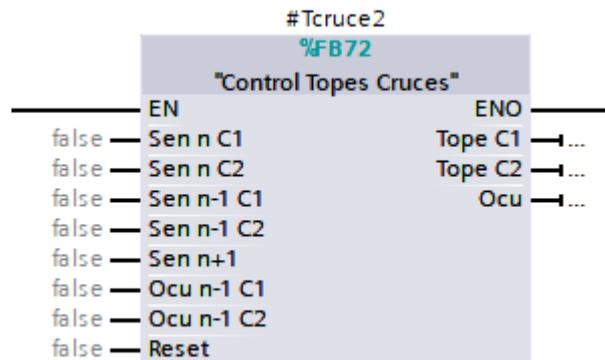


Imagen 52: FB de control de cruces

Al existir un gran número de cintas en todo el proceso productivo, la programación las mismas se ha realizado con FBs de multiinstancia². Es decir que una FB a su vez contiene en su interior instancias de otras FBs

Debe observarse que la programación realizada permite que el resto de las piezas puedan seguir avanzando a pesar de que una pieza o un conjunto de ellas se encuentren detenidas en un punto de la mantención. Esto se traduce en una disminución considerable del tiempo de flujo y por tanto en una mayor capacidad de producción.

Otra opción en vez de utilizar topes para detener el avance de las piezas podría haber sido detener cada cinta de forma individual. Aunque a nivel de la simulación no es relevante, la implementación de este modo de funcionamiento en la realidad provocaría que se produjeran continuos arranques y detenciones de los motores que gestionan las cintas transportadoras, lo que llevaría a acortar la vida útil de los mismos.

3.6 Manutención pesada

3.6.1 Cintas transporte pesado:

La filosofía de automatización de las cintas lineales de transporte pesado es idéntica a la de las cintas lineales de transporte ligero, por lo que no se analizará nuevamente su funcionamiento. Dado que la filosofía de control es la misma, la automatización de las cintas de transporte pesado se realiza también por medio de la misma FB. A su vez todas las FB de la mantención pesada forman una multiinstancia en la FB81 - Gestión rodillos.

3.6.2 Mesa de giro:

Como se vio en el apartado 2.3.1, las mesas de giro son dispositivos de la mantención pesada que permiten modificar la dirección de avance de los pallets. En este tipo de mesas se pueden diferenciar dos partes: una parte fija, sombreada en color amarillo (Imagen 53) y una plataforma giratoria, sombreada en rojo. Cada una de estas mesas presenta 4 vías que pueden ser utilizadas tanto como punto de acceso o salida a la mesa de giro (flechas azules).

² Ver definición en Anexo 2.

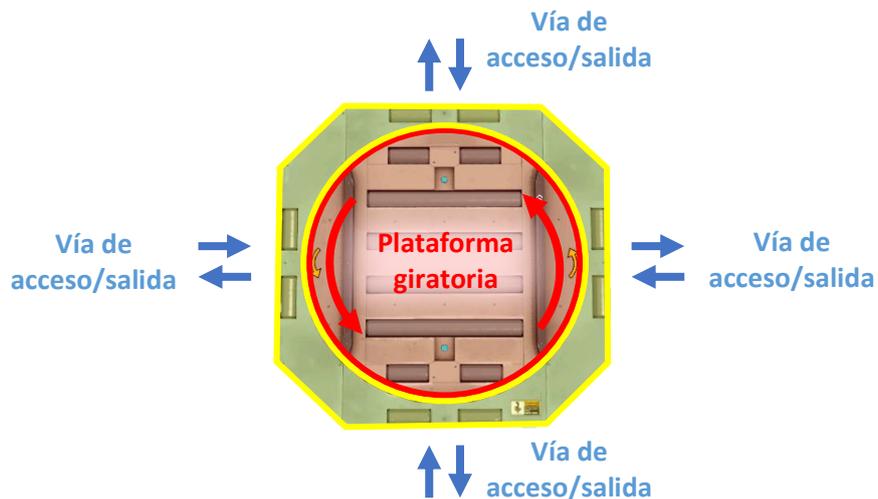


Imagen 53: Partes de una mesa de giro.

Cada una de estas mesas presentan tres movimientos diferentes: Avance, retroceso y giro. Al activar el movimiento de avance, los rodillos de la sección central giran en sentido horario de modo que el desplazamiento se produce en el sentido que indica la flecha amarilla (Imagen 54), por otro lado, para provocar un movimiento de retroceso, los rodillos girarán en sentido antihorario. Para poder fijar un método común a la hora de numerar las vías, se ha elegido como elemento de referencia una pegatina de peligro de atrapamiento que aparece indicada en la Imagen 54 en un rectángulo verde.

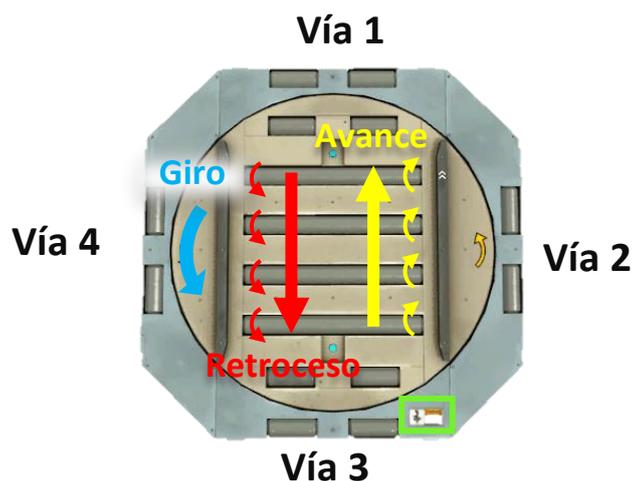


Imagen 54: Movimientos mesa de giro.

Su funcionamiento se inicia con la llegada de un pallet por una de las vías de acceso a la mesa, este hecho se detecta por medio de unos sensores fotoeléctricos presentes en las entradas.

Una vez que hay presencia de un pallet en una de las entradas, se comprueba si la orientación de la mesa es la correcta para que el pallet pueda acceder a ella. De no ser así la mesa deberá girar para que los rodillos de la plataforma queden paralelos a los de la vía de acceso donde se encuentra el pallet.

El movimiento de giro al activarse, provoca un giro de 90° de la plataforma en sentido antihorario, pero debe tenerse en cuenta que la mesa no es capaz de girar más de 90°, por lo

que si se desea que un pallet acceda a la mesa por ejemplo por la vía 4 (Imagen 55), deberá activarse el movimiento de giro y seguidamente el movimiento de retroceso (rodillos girando en sentido horario).

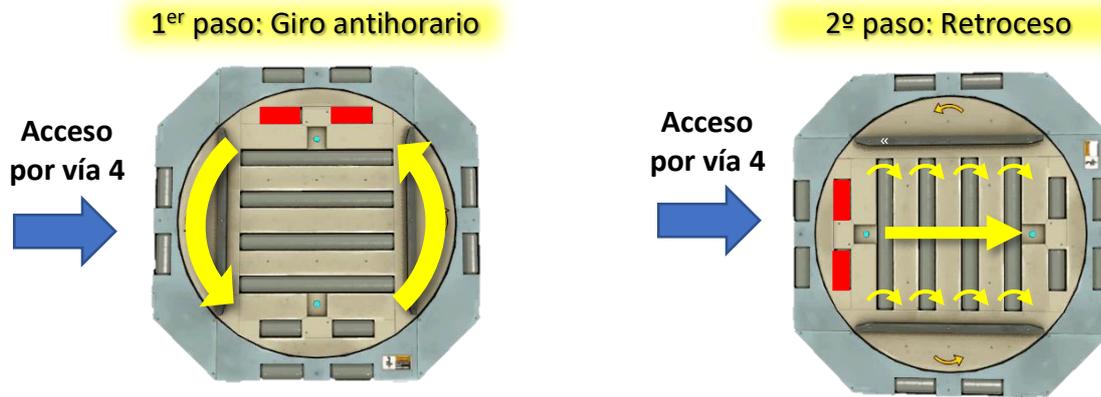


Imagen 55: Movimientos de la mesa si un pallet accede por la vía 4.

Si por el contrario se desea que el pallet acceda por la vía 2 (Imagen 56), habrá que activar el movimiento de giro y seguidamente el de avance (rodillos girando en sentido antihorario). Al desactivar el movimiento de giro la mesa vuelve a su orientación de 0°. Se debe mencionar que este tipo de funcionamiento no se puede modificar, ya que es el que viene fijado por Factory IO, lo que complica en gran medida las tareas de automatización.

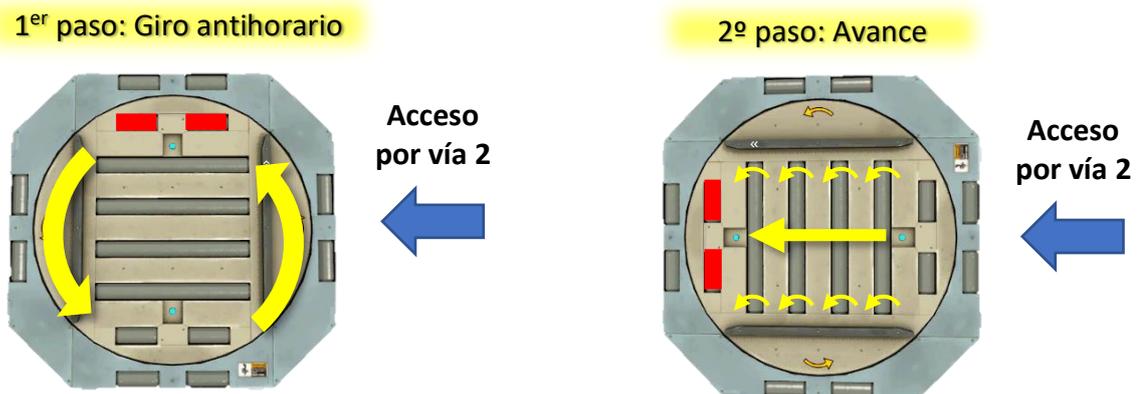


Imagen 56: Movimientos de la mesa si un pallet accede por la vía 2.

Orientada la mesa correctamente, el tope desciende y el pallet puede avanzar. En función del destino del pallet, pueden presentarse dos situaciones:

- **La dirección de la salida es la misma que la dirección de entrada:** Se trata de la situación más sencilla ya que la plataforma giratoria no debe cambiar su orientación y bastará con mantener los rodillos girando en el sentido adecuado.
- **La dirección de salida es perpendicular a la dirección de entrada:** En esta situación el pallet avanzará hasta situarse centrado en la plataforma. Si el pallet ha accedido a la mesa por medio de los rodillos de la plataforma girando en sentido de **avance**, el

sensor utilizado para detectar el pallet en la posición central, será el **sensor delantero** (Imagen 57). En cambio, si el pallet ha accedido a la plataforma por medio de los rodillos girando en el sentido de **retroceso**, se usará el **sensor trasero**.

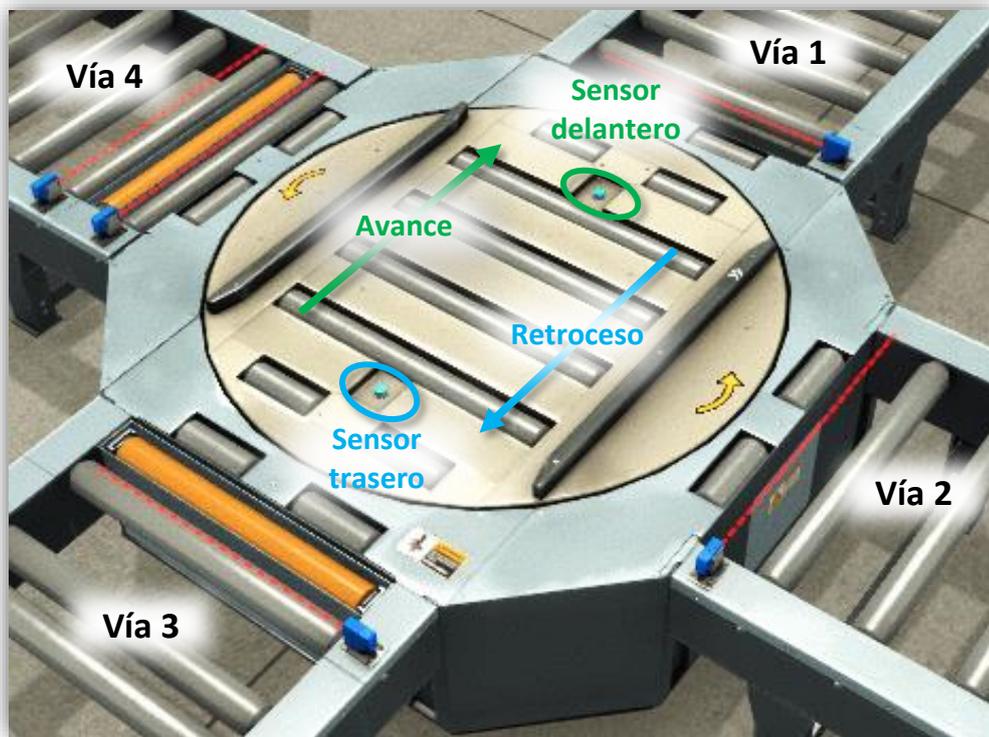


Imagen 57: Movimientos y sensores mesa de giro.

Una vez que el pallet se encuentra parado en el centro de la mesa de giro, ésta rotará hasta orientarse en la dirección de la salida. Finalmente, los rodillos girarán en el sentido de adecuado para provocar un movimiento de avance o de retroceso en función de la vía por la que deba salir el pallet.

Se debe mencionar que este tipo de funcionamiento no se puede modificar, ya que es el que viene fijado por Factory IO, lo que complica en gran medida las tareas de automatización.

En la programación de las mesas de giro se ha buscado un carácter genérico, es decir, que no se tenga que realizar una programación nueva si por ejemplo una vía que está configurada como acceso, debe pasar a usarse como salida. Es decir, una misma FB es completamente válida para cualquier configuración de las vías.

Independientemente de que la programación sea válida para cualquier configuración en las vías de acceso/salida, se deberá especificar el modo concreto en el que el usuario quiere que funcione una determinada mesa. Es decir, especificar qué vías son de entrada, qué vías son de salida y por dónde se desea que salga el pallet en función de la vía por la que ha entrado.

La definición de la configuración de la mesa se realiza en la FB82 y será el único punto donde deberá realizar modificaciones el usuario. La configuración es totalmente libre: una vía de salida para cada vía de acceso, varias vías de salida para una misma vía de acceso, etc.

En la Imagen 58 se muestra el ejemplo concreto de configuración de la mesa 1 del proceso productivo, donde la vía 1 constituye la salida de los pallets que entran por la vía 3; y la vía 2, es la salida de los pallets entrantes por la vía 4.

Se debe tener en cuenta que en caso de llegada simultanea de pallets por las vías de acceso hay que dar preferencia a una de ellas. En este caso concreto, si se produce una llegada simultanea de dos pallets a las vías de entrada 3 y 4, se da preferencia a la vía 3, ya que por dicha vía entran pallets vacíos que se dirigen a la paletizadora y en caso de ausencia de pallet en la paletizadora se detendría la línea. En cambio, por la vía 4 entran los pallets que ya han sido cargados en la apiladora, por lo que el efecto de una espera es menos penalizante en la vía 4. La consecución de estas preferencias de acceso no requiere de ningún tipo de programación, basta con tener en cuenta el modo de ejecución de TIA Portal.

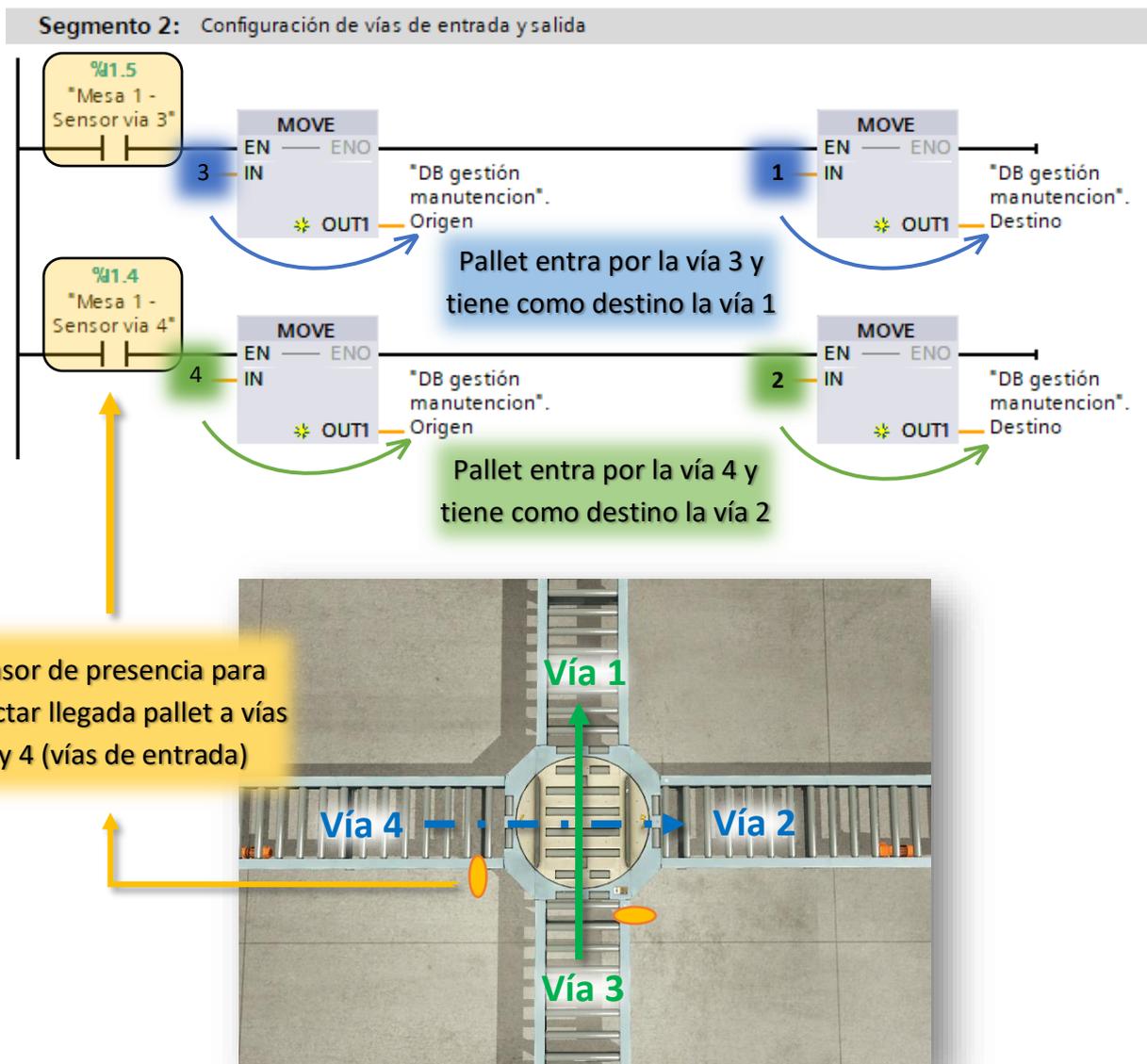


Imagen 58: Configuración entradas y salidas mesa de giro.

En total en el proceso productivo se dispone de cuatro mesas de este tipo, estando configuradas del siguiente modo:

	Vía 1	Vía 2	Vía 3	Vía 4
Mesa 1	Salida	Salida	Entrada	Entrada
Mesa 2	Salida	Salida	Entrada	Sin uso
Mesa 3	Salida	Entrada	Entrada	Sin uso
Mesa 4	Salida	Entrada	Entrada	Sin uso

Tabla 3: Configuración vías de acceso a las mesas de giro.

3.7 Máquinas de proceso:

3.7.1 CNC (FC 1):

Los tornos CNC son máquinas que debido a las características de Factory IO permiten una capacidad de programación muy limitada.

Su programación se limita al control de entrada de nuevas piezas en el proceso. Cada torno controla el acceso de piezas por la cinta transportadora con la que está conectado, de modo que se dará la orden de entrada de una nueva pieza al proceso cuando el torno CNC esté libre y también lo esté la cinta de salida.

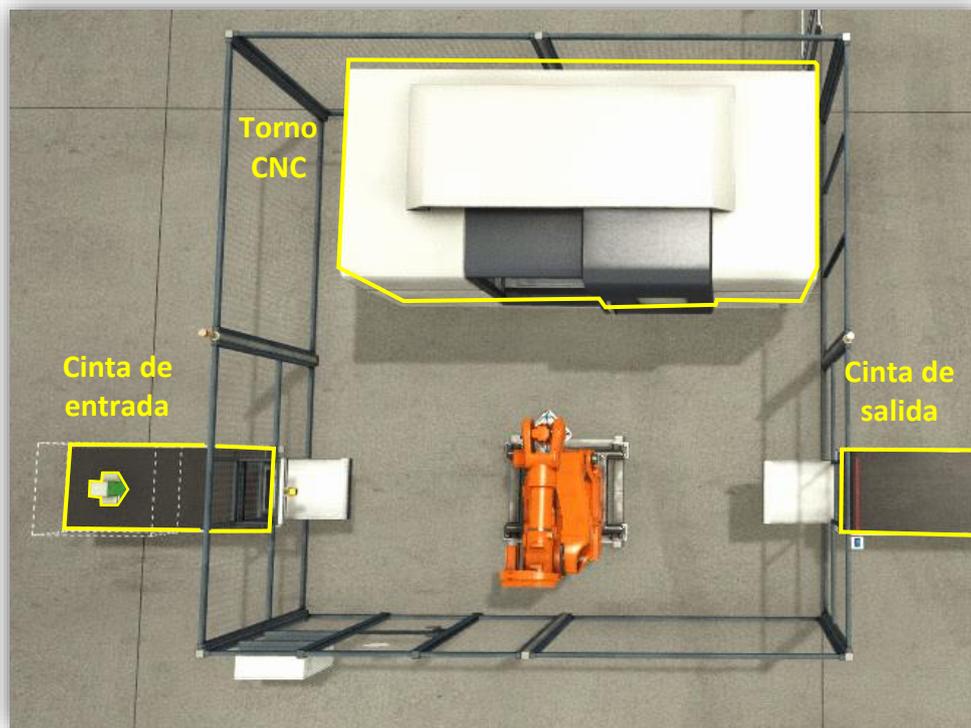


Imagen 59: Entrada y salida torno CNC.

3.7.2 Montadora (FC 2):

El proceso de montaje se inicia con la llegada de una tapa y una base, cada una de estas partes llegará a través de una de las cintas que dan acceso a la máquina. La llegada de las mencionadas piezas se detecta por medio de dos sensores de presencia {1} que se encuentran a la entrada de la máquina (Imagen 60).

Detectada la presencia de las piezas en la máquina, se activa el cierre de las garras posicionadoras (2a y 2b). La finalidad de estas garras, es posicionar las piezas de manera adecuada para poder realizar el montaje correctamente.

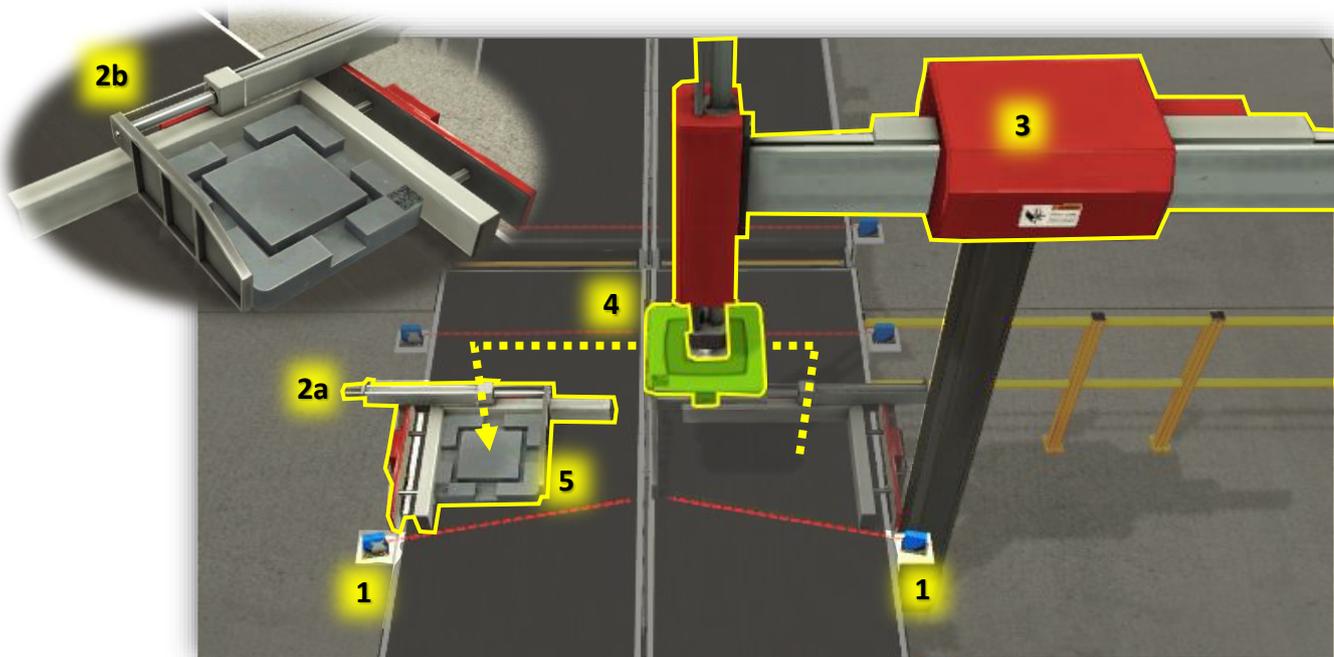


Imagen 60: Máquina montadora.

Llegados a este punto el robot (3) desciende verticalmente hasta llegar a la altura de la tapa (las tapas acceden por la cinta de la derecha). Cuando el sensor de presencia que incorpora el robot en el extremo de su brazo, detecta la presencia de la tapa, se activa el mecanismo de succión que permite agarrarla. Justo antes de que el brazo del robot ascienda, la garra posicionadora que mantenía sujeta la tapa se abre para evitar que en el momento de iniciar el ascenso, el robot pueda perder el agarre de la tapa. Una vez que el robot ha ascendido con la tapa cogida, se desplaza horizontalmente (4) para situarse sobre la pieza de tipo base (5) que ha llegado por la otra cinta transportadora. Situadas ambas piezas una encima de la otra, el brazo del robot desciende para realizar la unión de ambas.

En este punto se debe mencionar que en el caso de que se produzca algún retraso en la llegada de piezas tipo base a la máquina, el brazo del robot no tendrá la autorización para descender, ya que la unión de ambas piezas no se podría realizar. Es por lo que el robot esperará la llegada de la base y una vez que haya sido sujeta por la garra posicionadora, descenderá para realizar la unión. Depositada la tapa sobre la base, se desactiva el mecanismo de succión, el brazo del robot vuelve a su punto de origen y la pieza ya montada continúa su camino.

Otro aspecto a tener en cuenta es que cabe la posibilidad de que nuevas piezas lleguen a la máquina mientras se está realizando el proceso de montaje. Dado que la unión de ambas piezas se realiza sobre la cinta transportadora por la que llegan las bases (lazo izquierdo), ninguna nueva base podrá acceder a la máquina hasta que el proceso de montaje se haya completado (un tope bloqueará su avance). En cambio, es posible que accedan nuevas tapas, ya que el acceso se realiza por el lado de la cinta que está libre (lado derecho). Esta configuración permite reducir el tiempo de ciclo de la máquina y en última instancia una mayor capacidad de producción.

Existe la posibilidad que durante el proceso de funcionamiento de la montadora se produzcan defectos. Estos defectos en muchas ocasiones son inevitables dada infinidad de situaciones que pueden producirse, pero puede reducirse el efecto negativo de los mismos con una detección precoz para poder devolver a la máquina a su estado de funcionamiento habitual. La máquina está preparada para detectar dos posibles defectos:

- Pérdida del agarre de la pieza durante el proceso de desplazamiento del robot.
- Defecto en el posicionamiento de las bases o las tapas realizado por las garras posicionadoras.

En ambos casos se produce una transición al estado de defecto D2 (descrito en el apartado 3.2) y será tarea del operario solucionar y reestablecer el funcionamiento de la máquina. Con el fin de facilitar la detección de los defectos la luz roja de la baliza genera un aviso luminoso parpadeante.

3.7.3 Empujadores (FC 3):

Se trata de una de las máquinas más sencillas en cuanto a programación se refiere y como se mencionó en el capítulo 2, su finalidad es redirigir el avance de las piezas que se desplazan por la manutención ligera.

En función del tipo de desplazamiento que provocan en la pieza, se pueden diferenciar dos tipos de empujadores: de tipo perpendicular y de tipo paralelo (Imagen 61 A y B respectivamente). En total existen tres empujadores en el proceso productivo, dos de tipo perpendicular y uno de tipo paralelo.

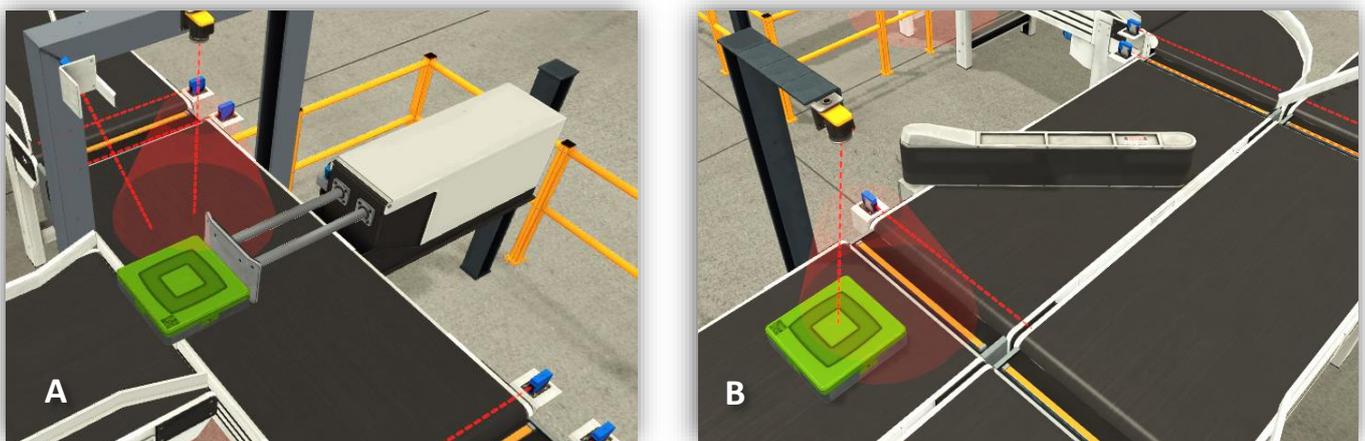


Imagen 61: Empujadores paralelo y lineal.

Empujador de tipo perpendicular:

El proceso se inicia con la aproximación de una pieza al empujador. Para que las piezas lleguen orientadas de forma correcta, se dispone de unos perfiles guía (1) en la Imagen 62 que orientan y posicionan las piezas de manera adecuada. Cuando la pieza llega a la altura de la cámara de visión artificial (2), esta identifica el tipo de pieza. Si es del tipo que corresponde, cuando la pieza llega a la altura del sensor fotoeléctrico (3), la cinta transportadora (4) se detiene, se activa el empujador y la pieza es desplazada hacia la cinta de salida por la que sigue su camino. Acto seguido la cinta (4) vuelve a ponerse en marcha.

Los defectos de funcionamiento que pueden ser detectados son los siguientes:

- Que se active la orden de avance o de retroceso del cilindro neumático y que no se produzca ningún tipo de respuesta por parte del empujador. Este tipo de defecto suele tener su origen más habitual es algún problema en el circuito de aire comprimido que impide el correcto funcionamiento del cilindro neumático.
- Que se active la orden de avance o de retroceso del cilindro, y que tras unos segundos no se alcance la posición contraria a la que se encontraba el cilindro. Esto se suele deber al atrapamiento de piezas que bloquean al cilindro en su desplazamiento.

Ambos tipos de fallo se notifican por medio de la iluminación parpadeante de la luz roja de la baliza del pupitre, y su solución requiere de la intervención de un operario.

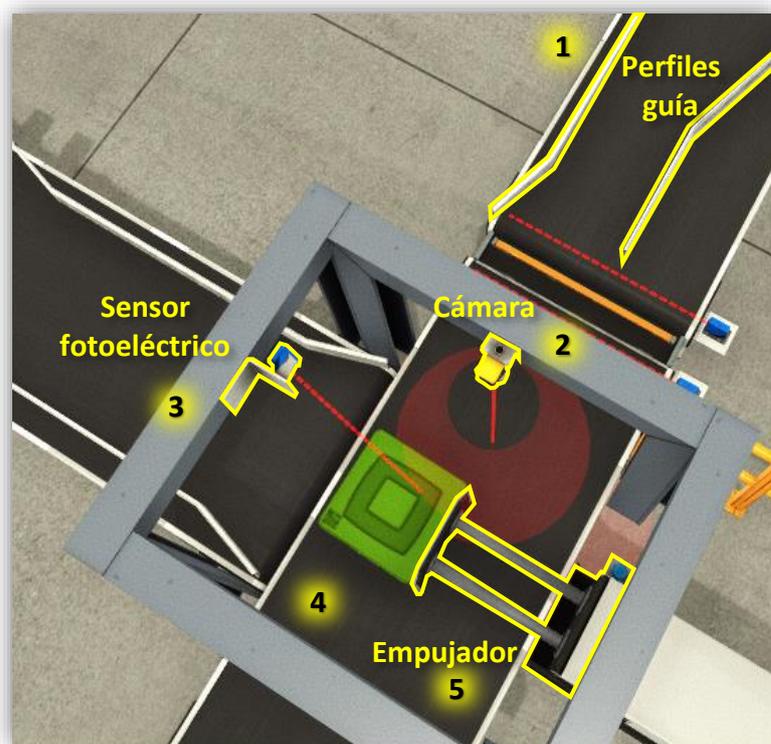


Imagen 62: Funcionamiento del empujador perpendicular.

Empujador de tipo paralelo:

A diferencia de los empujadores de tipo perpendicular, este tipo de empujador no requiere de unos perfiles guía para orientar la pieza en su aproximación, por lo que la aproximación se realiza libremente a través de la cinta (1) en la Imagen 63. La cámara de visión artificial (2) identifica el tipo de pieza y si es del tipo adecuado el empujador (3) gira 45° para desviar la pieza hacia la cinta de salida (4).

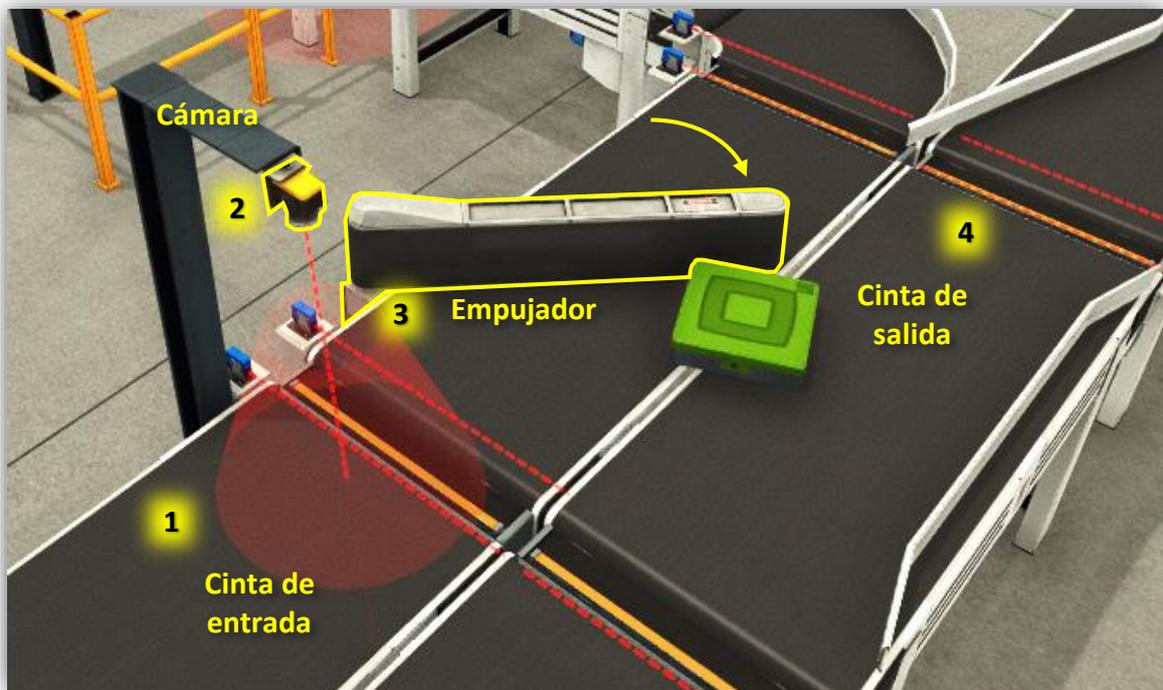


Imagen 63: Funcionamiento del empujador tipo paralelo.

Para favorecer el desplazamiento de las piezas, el empujador dispone de una banda en su superficie que se mueve en el sentido en el que se indica en la Imagen 64.



Imagen 64: Cinta empujador paralelo

Los defectos asociados a este tipo de empujador son los siguientes:

- Se da la orden de giro, pero el brazo no se mueve.
- La banda sobre la superficie del empujador se ha detenido.

El comportamiento de la máquina ante este tipo de defectos es idéntico al que se describe en los empujadores de tipo perpendicular, por lo que se omite la explicación.

3.7.4 Apiladora (FC 4):

Como se mencionó en el capítulo 2, la finalidad de la apiladora es la colocación de las cajas que contienen los productos de tapa metálica sobre los pallets. La programación se ha realizado para que sea posible escoger entre dos modos de apilamiento de las cajas:

- **Modo 1:** Un solo nivel. En este modo de apilamiento, cada pallet irá cargado con dos cajas, formando ambas un único nivel (Imagen 65 A).
- **Modo 2:** Dos niveles. A la configuración anterior, se le añade una caja más encima de las dos anteriores y perpendicular a ellas (Imagen 65 B).

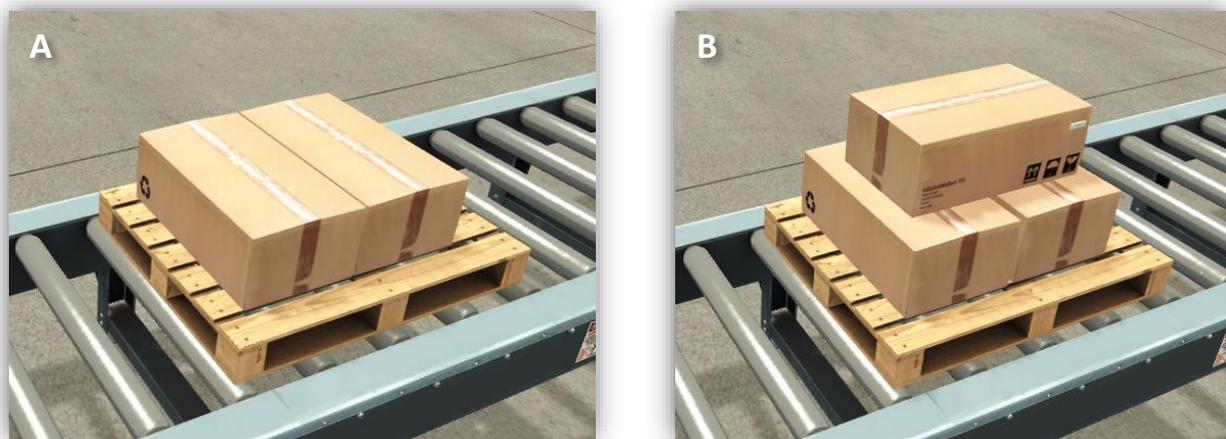


Imagen 65: Modos de apilación de cajas.

Para poder escoger el modo de apilamiento, se ha añadido en el pupitre de control, un selector de dos posiciones que permite alternar entre un modo de apilamiento u otro. Para su uso no es necesario parar el funcionamiento de la máquina (Imagen 66).



Imagen 66: Selector número de cajas en la apiladora.

El proceso se inicia con la llegada de una caja al final de la manutención ligera. La presencia de una caja a la entrada se detecta por medio del sensor fotoeléctrico (1) de la Imagen 67. Dicha presencia habilita el movimiento del robot (2), que se desplaza para coger la caja (3) e ir a depositarla sobre un pallet (4). Puede suceder que el pallet donde debe depositarse la caja todavía no haya llegado a su posición (5) por lo que el robot esperará la llegada del pallet para iniciar sus movimientos.

Depositada la caja sobre el pallet, el robot vuelve a su posición de espera y el ciclo se inicia nuevamente hasta que se hayan depositado sobre el pallet, el número de cajas seleccionado por el usuario. Llegados a este punto el pallet sale de la máquina.

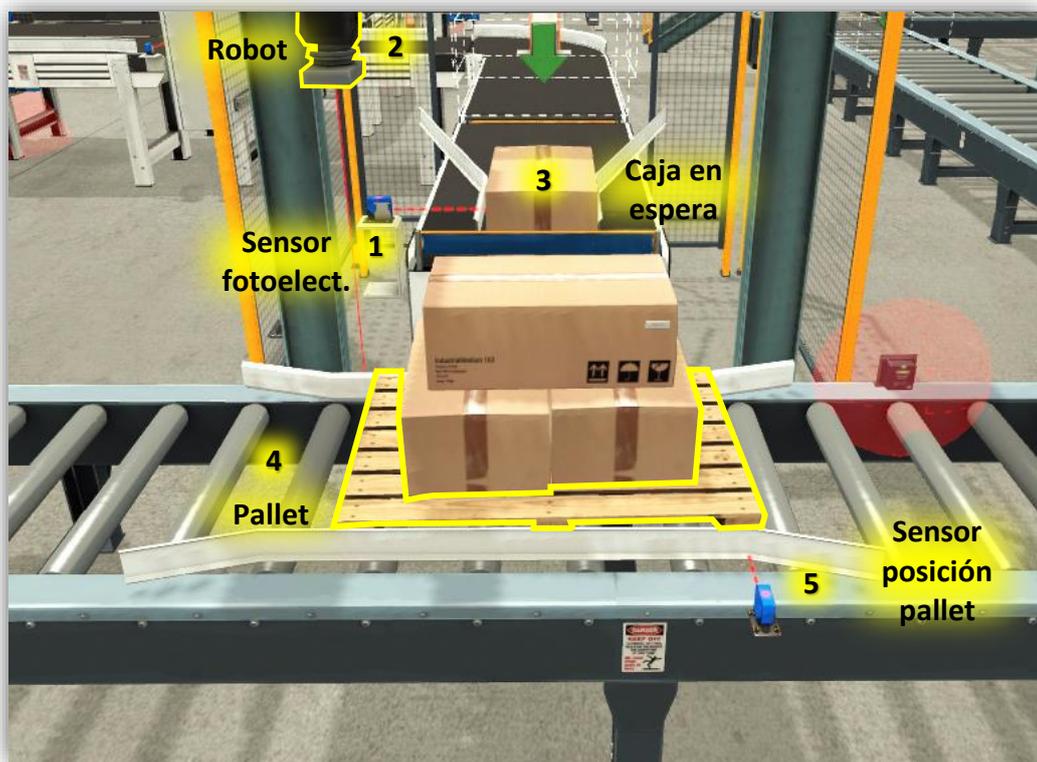


Imagen 67: Funcionamiento de la apiladora.

Del mismo modo que el resto de máquinas del proceso, la programación se ha diseñado para que sea capaz de detectar fallos. Los fallos contemplados son:

- Pérdida/caída de la caja durante el proceso de desplazamiento desde la cinta transportadora hasta el pallet.
- Entrada en la máquina de una caja errónea, es decir, una caja que por sus dimensiones no es apta para ser cogida por el brazo del robot.

Ante la ocurrencia de cualquiera de estos fallos, la máquina se detiene y genera un aviso por medio de una luz roja parpadeante en la baliza del pupitre de control.

La programación se ha realizado en una FC, la razón de no haber usado una FB es debido a que la programación no puede realizarse de forma genérica como en otras máquinas ya que las posiciones del robot podrán variar en cada caso.

3.7.5 Paletizadora (FC 5):

En el apartado 2.3.2 la paletizadora se definía como una máquina destinada a ordenar las cajas que contienen los productos de tapa verde y azul para colocarlas sobre los pallets siguiendo una determinada configuración.

En el proceso se dispone de dos paletizadoras y cada una de ellas cuenta con dos entradas: una por la parte inferior, por la que acceden los pallets a la máquina y otra por la parte superior, por la que acceden las cajas que van a ser paletizadas. El acceso de los pallets por la parte inferior se realiza a través de la manutención pesada, mientras que el acceso de las cajas se realiza por medio de la manutención ligera (Imagen 68).



Imagen 68: Accesos apiladora.

Las cajas que se depositan sobre los pallets están estructuradas por niveles, estando cada uno de los niveles formado por 6 cajas, todas ellas orientadas en la misma dirección. A su vez la orientación de las cajas en cada nivel es perpendicular a la orientación de las cajas del nivel inferior (Imagen 69).

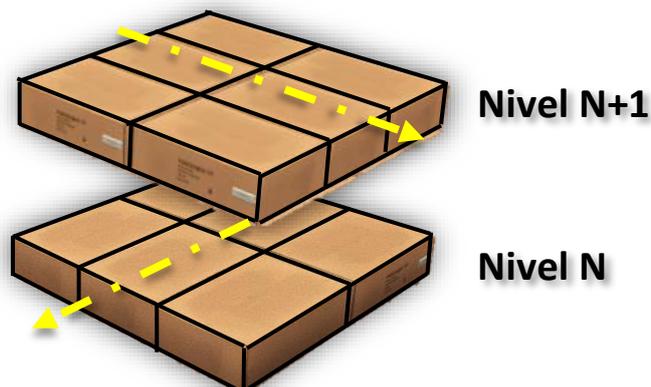


Imagen 69: Orientación niveles de cajas.

El proceso de paletizado se inicia con la llegada de un pallet por la parte inferior de la paletizadora. Para detectar que el pallet está posicionado sobre la plataforma, se dispone de dos sensores capacitivos en la parte delantera y trasera de la plataforma (Puntos amarillos en la Imagen 70 A). Cuando ambos sensores se activan, la cinta transportadora de cadenas que se encuentra sobre la plataforma se detiene, la plataforma elevadora asciende y el tope de acceso bloquea la entrada de nuevos pallets (Imagen 70 B).

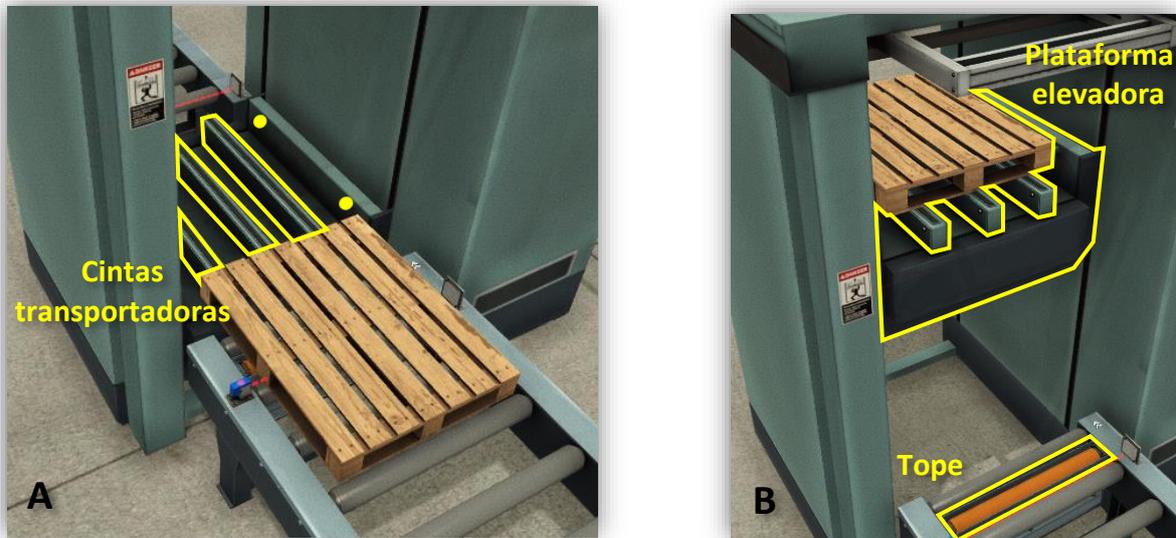


Imagen 70: Plataforma elevadora de la paletizadora

Al mismo tiempo que el pallet accede desde la parte inferior, por la parte superior van accediendo las cajas que contienen los productos fabricados en el proceso. Dicho acceso está controlado por un tope que sube y baja para bloquear o permitir el avance de las cajas y un brazo posicionador, que permite orientar las cajas (Imagen 71).

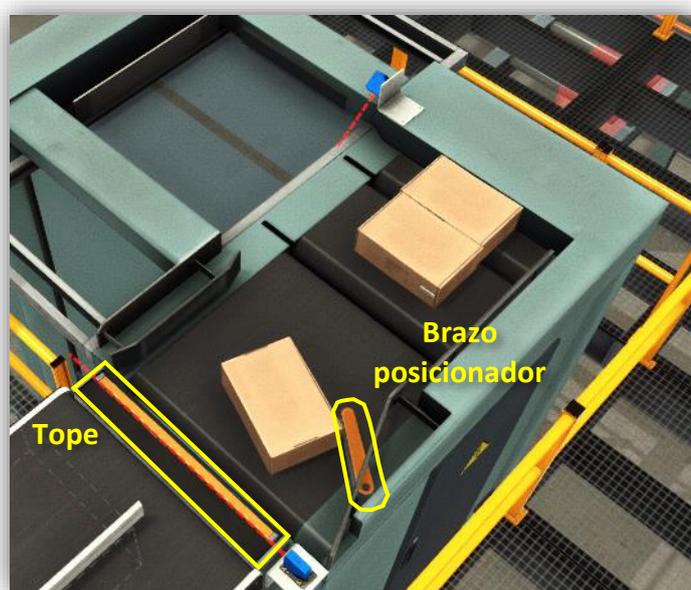


Imagen 71: Brazo posicionador y tope.

Es importante recordar que debido a la distinta orientación de las cajas en cada uno de los niveles, el número de cajas por fila en cada nivel será diferente (Imagen 72).

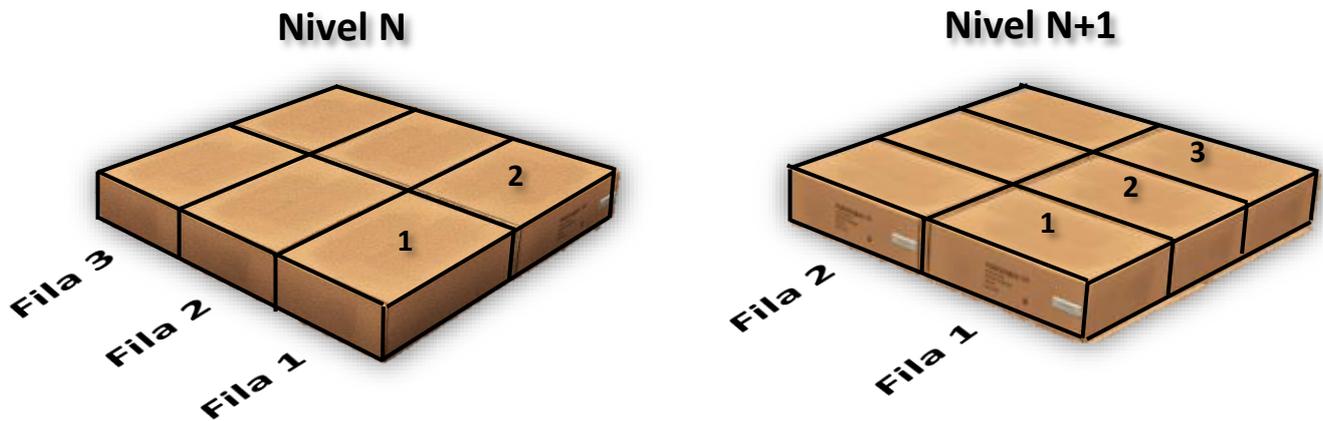


Imagen 72: Cajas por fila.

El nivel N está formado por tres filas con dos cajas en cada fila y el nivel N+1 está formado por dos filas con tres cajas en cada fila. Este hecho complica la programación enormemente, ya que se debe conocer en todo momento el nivel, la fila y el número de cajas por fila, ya que esos valores determinarían el movimiento del brazo de empuje (Imagen 73).

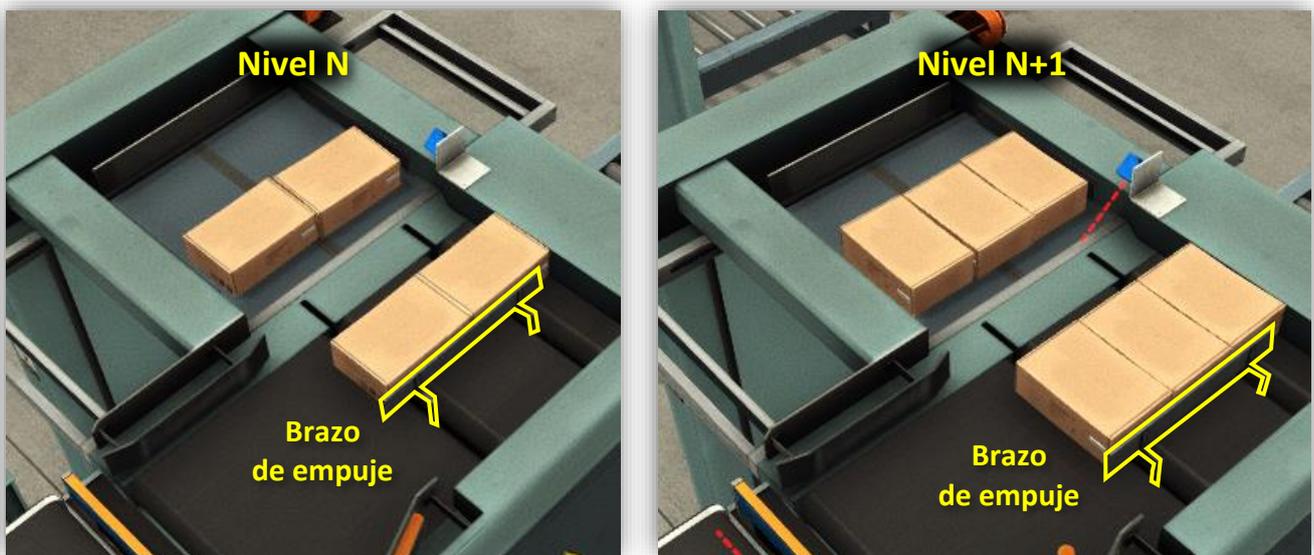


Imagen 73: Brazo de empuje.

Una vez que un nivel de cajas está completo, se abren las compuertas que sujetan las cajas y se dejan caer suavemente sobre el pallet que se encuentra justo debajo y que había entrado por la parte inferior (Imagen 74).

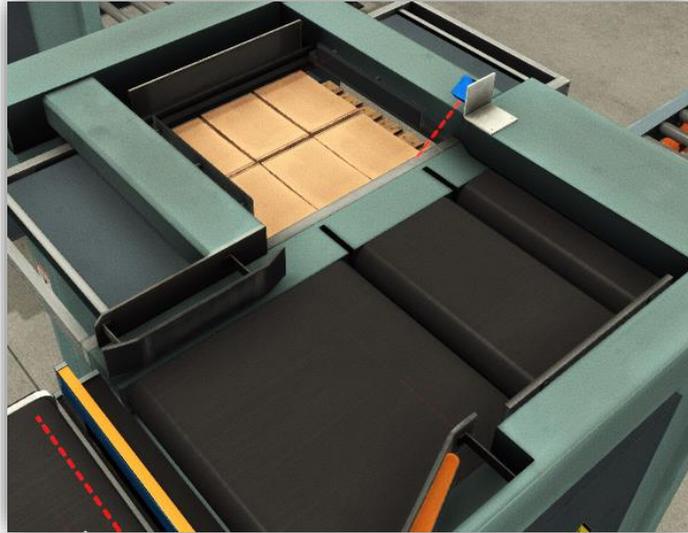


Imagen 74: Cajas cayendo sobre el pallet.

Acto seguido la plataforma de elevación desciende una distancia equivalente a la altura de las cajas para poder iniciar nuevamente el proceso, pero en esta ocasión con las cajas orientadas perpendicularmente a las anteriores. Una vez completados todos los niveles de cajas, la plataforma desciende y el pallet sale de la máquina a través del transportador de rodillos (Imagen 75).

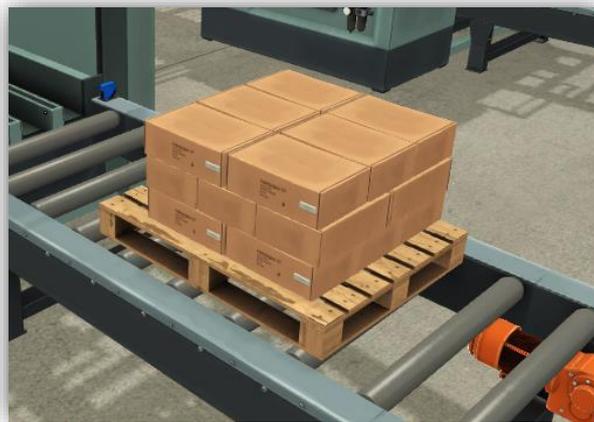


Imagen 75: Pallet cargado con tres niveles.

3.7.6 Dispositivos RFID (FC 9):

A pesar de que los dispositivos RFID pueden considerarse como sensores/actuadores, se ha decidido analizar su comportamiento en este apartado debido a que presentan un funcionamiento más complicado que un sensor o actuador convencional. Se debe recordar que una etiqueta RFID es el soporte físico donde se puede guardar la información y el lector RFID es el elemento que realiza las operaciones de lectura y escritura sobre la etiqueta.

El proceso de funcionamiento de estos dispositivos no es observable ya que todas sus funciones son realizadas por radiofrecuencia. Dicha secuencia de funcionamiento es la siguiente:

- En primer lugar, se debe detectar la presencia de una etiqueta en el rango del lector RFID. Este rango es ajustable y viene representado por medio de un volumen encerrado por una superficie de color rojizo.

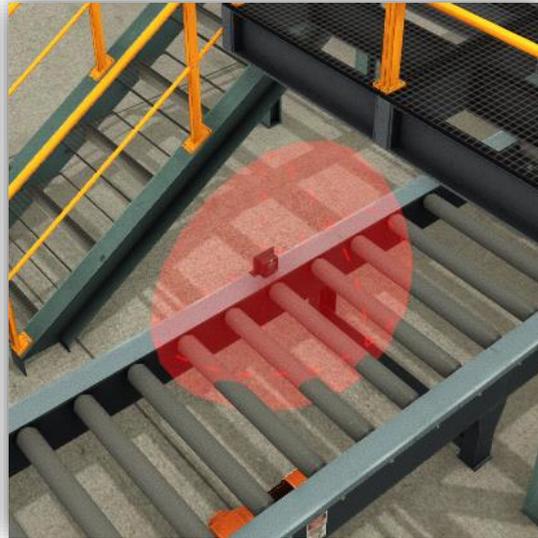


Imagen 76: Rango detección RFID

- Detectada la presencia de una etiqueta, se elige el tipo de operación a realizar. Existen tres posibles operaciones que son: lectura, escritura y borrado completo de la toda la información contenida en la etiqueta. Cada una de estas operaciones está vinculada a un número entero siendo la lectura un 2, la escritura un 3 y el borrado total un 4.
- Si la operación elegida es el borrado total, el proceso habrá finalizado. En caso de seleccionar las opciones de lectura o escritura a continuación se deberá elegir la dirección de memoria donde se desea realizar la mencionada operación de lectura o escritura. El tamaño de la memoria de la etiqueta está limitado a 256 variables de tipo *Word*³ por lo que el rango de direcciones está comprendido entre 0 y 255.
- Llegados a este punto el funcionamiento difiere si se está realizando una lectura o una escritura:
 - **Escritura:** En este caso la información se guarda en la etiqueta que va adherida a la caja o el pallet. Las etiquetas adheridas a las cajas, llevarán la información del tipo de pieza que contienen. En el caso de los pallets, la información contenida en la etiqueta será el tipo y el número de piezas que transportan.

³ Ver definición en Anexo 2

En el proceso productivo existen seis dispositivos RFID que presentan este funcionamiento, cuatro en las paletizadoras y dos en la apiladora. En la Imagen 77 pueden observar los dos dispositivos RFID de la apiladora.

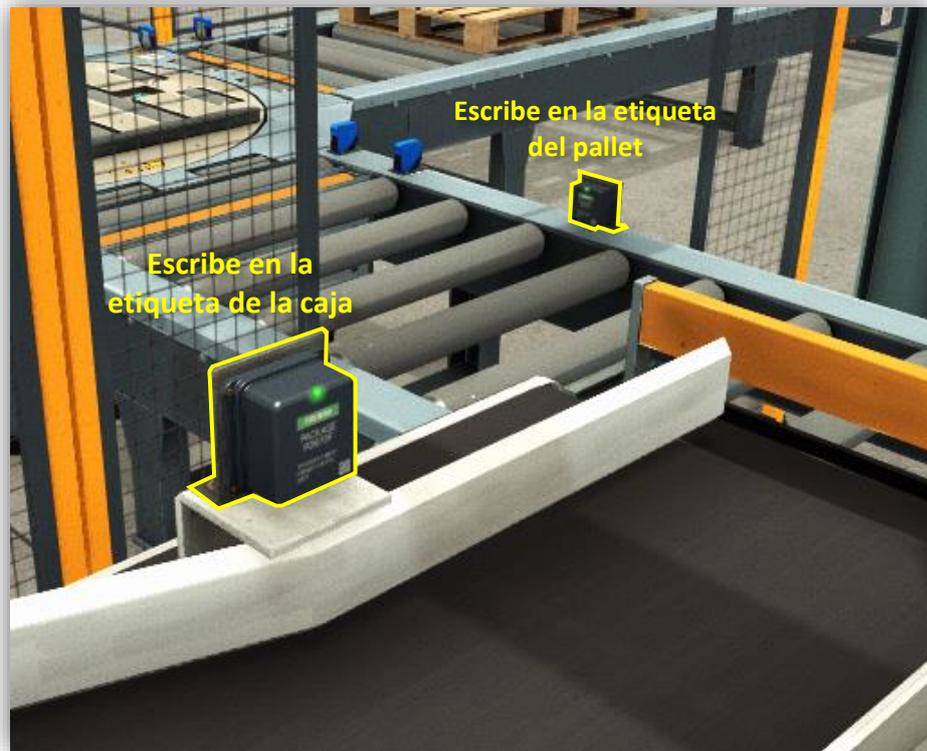


Imagen 77: RFIDs de escritura en la apiladora.

- **Lectura:** La información escrita sobre las etiquetas previente en otros puntos del proceso es leída y deberá guardarse en una variable interna del PLC para su posterior tratamiento. Este tipo de funcionamiento es utilizado a la entrada del almacén automatizado para conocer el tipo de piezas que transporta el pallet y así poder calcular el estante donde debe ser depositado.



Imagen 78: RFID lectura almacén.

Terminadas las operaciones de lectura o escritura, el dispositivo RFID devuelve el valor cero para indicar que la operación se ha realizado con éxito o un uno para informar que la operación no ha podido realizarse.

Todo este proceso es prácticamente instantáneo por lo que no es necesario detener el avance del pallet o de la caja.

3.7.7 Almacén (FC 6):

El almacén automatizado consta de dos grúas, una destinada a introducir los pallets en el almacén [1] en la Imagen 79 y otra a extraerlos [2]; pudiendo estar funcionando ambas simultáneamente.

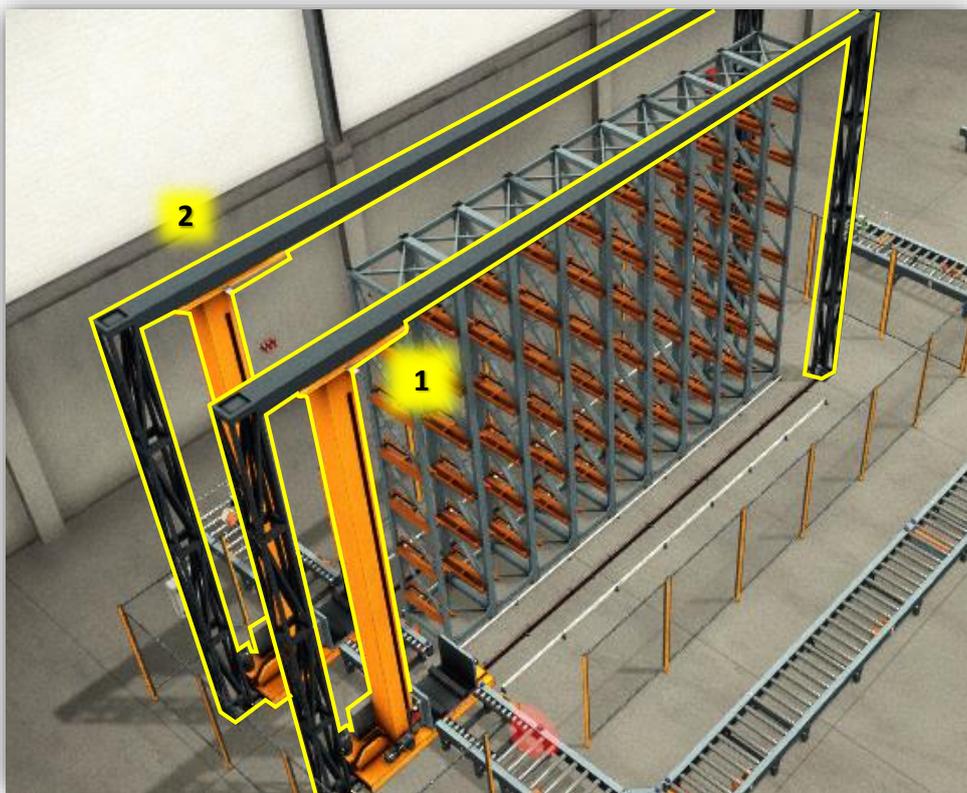


Imagen 79: Grúas almacén.

Cada una de estas grúas dispone de unas horquillas extensibles montadas sobre un carro transportador, el cual, por la acción de unos motores es capaz de desplazarse vertical y horizontalmente de modo que puede acceder a cualquier posición de la estantería donde guardar o extraer un pallet (Imagen 80).

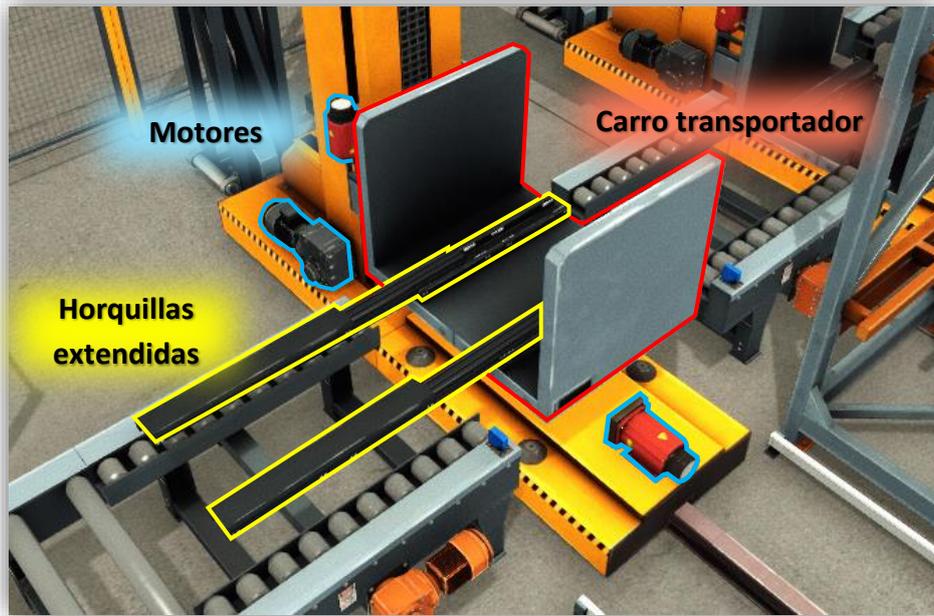


Imagen 80: Elementos grúa.

El ciclo de funcionamiento se inicia con el acercamiento de un pallet a la entrada del almacén (Imagen 81), donde un lector RFID identifica el tipo de carga que lleva el pallet a partir de la lectura de la etiqueta RFID. Conocida el tipo de carga transportada, se calcula la posición del pallet dentro de la estantería y se espera a que el pallet se posicione justo a la entrada del almacén.



Imagen 81: Lectura etiqueta RFID

Una vez que el pallet se encuentra posicionado a la entrada del almacén se inicia el proceso de guardado del pallet. En primer lugar, se extienden las horquillas que lleva incorporadas el carro transportador por debajo del pallet.



Imagen 82: Horquillas extendidas recogiendo carga

A continuación, el carro junto con las horquillas se eleva haciendo que el pallet pierda el contacto con la manutención pesada, y acto seguido las horquillas se contraen; quedando de esta forma el pallet cargado sobre el carro transportador.



Imagen 83: Horquillas extendidas y elevadas

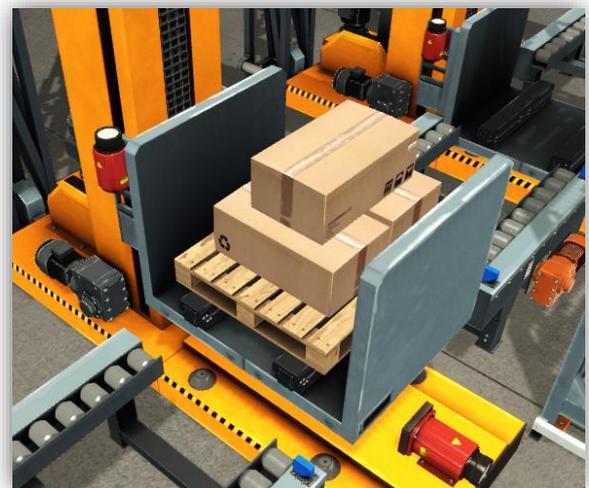


Imagen 84: Pallet cargado en el carro transportador.

El carro junto con el pallet se desplaza a lo largo del almacén hasta la posición de destino. Antes de proceder a depositar el pallet en el correspondiente estante, se comprueba la posición de la grúa que se encarga de la extracción de los pallets para evitar posibles choques

debido a estar accediendo ambas grúas al mismo estante. Comprobada la posición de la grúa de descarga, se extienden las horquillas y el carro desciende para depositar el pallet sobre la estantería.



Imagen 85: Proceso de depositar pallet en el estante.

Pudiera darse el caso que todos los estantes correspondientes al tipo de carga que transporte el pallet estuviesen llenos, en ese caso el pallet no entraría en el almacén y seguiría avanzando por la manutención pesada para salir del sistema.

El comportamiento de la grúa de descarga es prácticamente idéntico a la de carga, con la salvedad de que en vez de recoger el pallet en la entrada y depositarlo en el almacén, lo recoge del almacén y lo deposita en la salida. Para elegir el tipo de producto que se desea extraer del almacén basta con posicionar el selector que se encuentra en el pupitre de control en la zona a la que se desea acceder y pulsar el botón (Imagen 86).



Imagen 86: Controles extracción pallets almacén.

Capítulo 4:

Wonderware

En este capítulo se presenta el entorno de supervisión desarrollado para el proceso productivo y que ha sido implementado mediante Wonderware System Platform. Se presenta una breve introducción al software y se exponen los diferentes campos y los modos de visualización existentes en el SCADA desarrollado.

4.1 Acerca de Wonderware System Platform

Wonderware System Platform es el nombre que recibe el paquete de softwares desarrollado por la multinacional Schneider Electric. Cada uno de los softwares que forman el paquete presenta diferentes utilidades y funciones dependiendo del uso y del tipo de sistema SCADA que se vaya a desarrollar.

Concretamente para el presente Trabajo de Fin de Máster se ha hecho uso de InTouch, que se trata del software que proporciona el entorno gráfico para poder llevar a cabo el desarrollo, implementación y visualización de entornos SCADA. Para cada una de estas tareas, dentro de InTouch encontramos:

- **Window Maker:** Desarrollo e implementación de SCADAs.
- **Window Viewer:** Ejecución de SCADAs.

4.2 Entorno gráfico del SCADA

El sistema SCADA desarrollado se encuentra configurado de forma que inicialmente la información de proceso no sea visible para el usuario, por lo que para poder visualizarla deberá identificarse. Para ello se dispone en la esquina superior izquierda de una región destinada a la identificación de usuarios (Imagen 87).



Imagen 87: Área de identificación.

Al pulsar el botón “Acceder”, se mostrará una ventana emergente como la de la Imagen 88 en la que el usuario deberá introducir sus credenciales.



Imagen 88: Ventana de identificación.

Una vez hecho esto, el sistema identificará al usuario y le proporcionará una serie de permisos que han sido preestablecidos. Estos permisos determinarán el tipo de información que será visible para el usuario. En total existen cuatro tipos diferentes de usuarios, que son:

- **Técnico de proceso:** Dispone de permisos para visualizar únicamente el área destinada a proporcionar la información de las máquinas de proceso. (Usuario: Proceso, Contraseña: 12345)
- **Técnico de almacén:** Dispone de permisos para visualizar únicamente el área destinada al control del estado del almacén. (Usuario: Almacen, Contraseña: 12345).
- **Ingeniero:** Dispone de los permisos del técnico de proceso y del técnico de almacén, por lo que tiene la capacidad de supervisar todo el proceso. (Usuario: Ingeniero, Contraseña: 12345).
- **Administrador:** Dispone de los mismos permisos que el ingeniero, pero además tiene la capacidad de crear nuevos usuarios y de modificar los permisos de cada uno de ellos. (Usuario: Administrador, Contraseña: 12345).

En el caso que un usuario desee modificar su contraseña, podrá hacerlo una vez que se haya identificado, pulsando el botón *Modificar Contraseña* (Imagen 87).

El entorno gráfico del SCADA desarrollado presenta dos partes diferenciadas, por un lado, el área destinada al control del estado de funcionamiento de las distintas máquinas del proceso y por otro, el área destinada al control del almacén. (Imagen 89)

- **Área de máquinas de proceso:** Permite observar el estado de cada una de las máquinas de proceso por medio de un código de colores idéntico al de las balizas luminosas de los pupitres control. A modo de recordatorio se describe nuevamente el significado de cada uno de los posibles estados:
 - **Rojo fijo:** Máquina parada sin puesta en servicio.
 - **Rojo parpadeante:** Máquina parada debido a un defecto.
 - **Verde fijo:** Máquina en servicio en modo automático (producción normal)
 - **Verde parpadeante:** Máquina en servicio en modo manual.
- **Área de control de almacén:** Permite visualizar el estado de ocupación de cada una de las zonas del almacén, así como el número de pallets en cada una de las zonas. Cada vez que se introduce o se extrae un pallet en una determinada posición del almacén aparece/desaparece el icono de un pallet en el correspondiente estante.

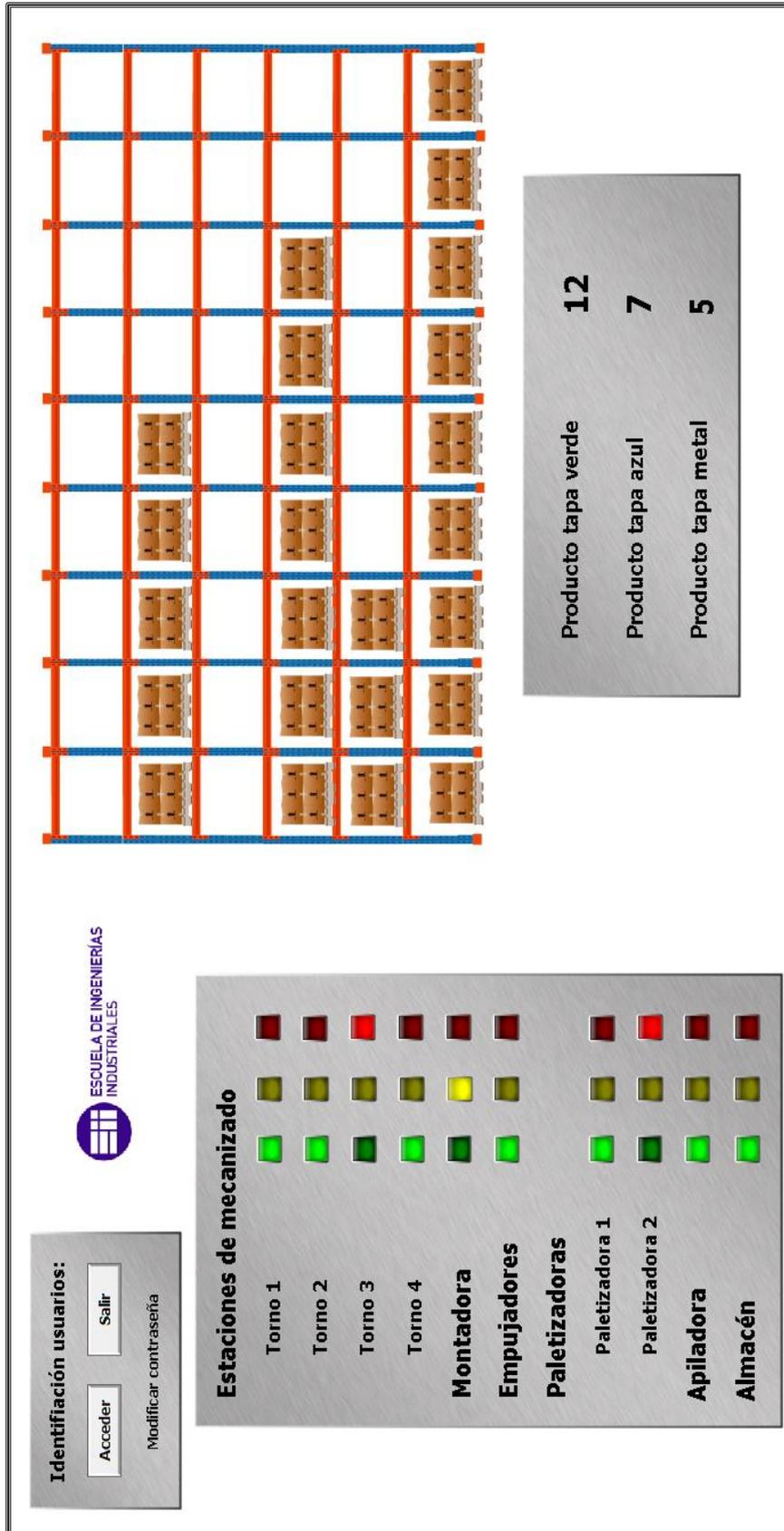


Imagen 89:Entorno gráfico SCADA

Capítulo 5:

Comunicaciones

Todo proyecto realizado en TIAPortal tiene como objetivo final poder ser ejecutado por un PLC para poder gobernar el movimiento de ciertas máquinas o dispositivos. Dado que no siempre es posible disponer de un PLC físico y de otros módulos de señales necesarios para el correcto funcionamiento del programa, Siemens, desarrolló un software denominado PLCSim. En este sentido, PLCSim sustituye a un PLC físico (y sus respectivos módulos de señales) realizando vía software las mismas operaciones.

Para el caso concreto del presente TFM, PLCSim constituirá el punto de partida de todas las comunicaciones con el resto de softwares, que se analizarán en los diferentes epígrafes de este capítulo. En la Imagen 90 se muestra un esquema general de las comunicaciones.

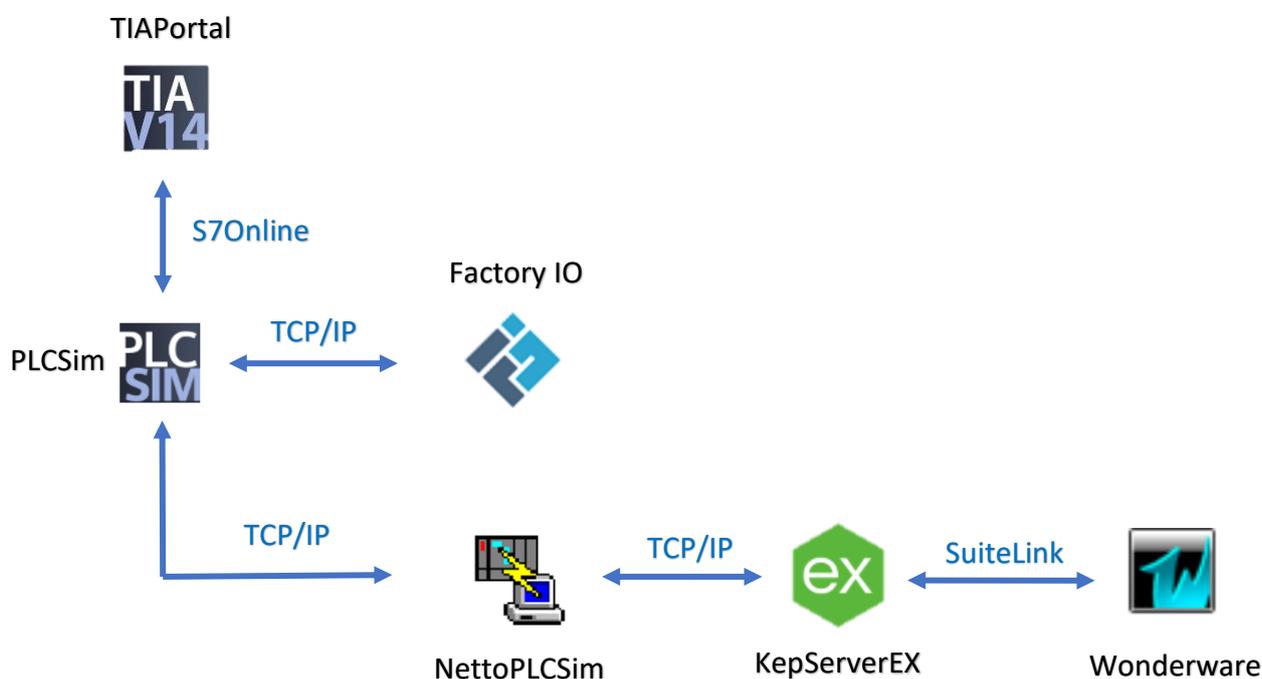


Imagen 90: Esquema general comunicaciones.

5.1 Comunicación TIA Portal y Factory IO

Debido a que Siemens no ha liberado la API de PLCSim para poder establecer la comunicación ente ambos softwares es necesario recurrir a plantillas de comunicación proporcionadas por Real Games. Estas plantillas consisten en bloques de función programadas en SCL⁴ que se añaden en el OB1 del proyecto de TIAPortal. Es importante que la plantilla descargada corresponda con la versión de TIA Portal de la que se dispone, de lo contrario no funcionará. Estas plantillas están disponibles para las versiones 13, 14 y 15 de TIA Portal.

⁴ Ver definición en Anexo 2.



Imagen 91: Comunicación TIAPortal y Factory IO

A continuación, se describe el proceso paso a paso para poder establecer la comunicación:

1. Descargar la plantilla correspondiente a la versión de TIA Portal que se disponga desde el siguiente enlace: <https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/setting-up-s7-plcsim-v13/index.html> [Disponible a Junio de 2020].
2. Descomprimir y abrir la platilla descargada con TIA Portal
3. Seleccionar el PLC que viene predefinido y hacer clic sobre el botón de iniciar simulación.

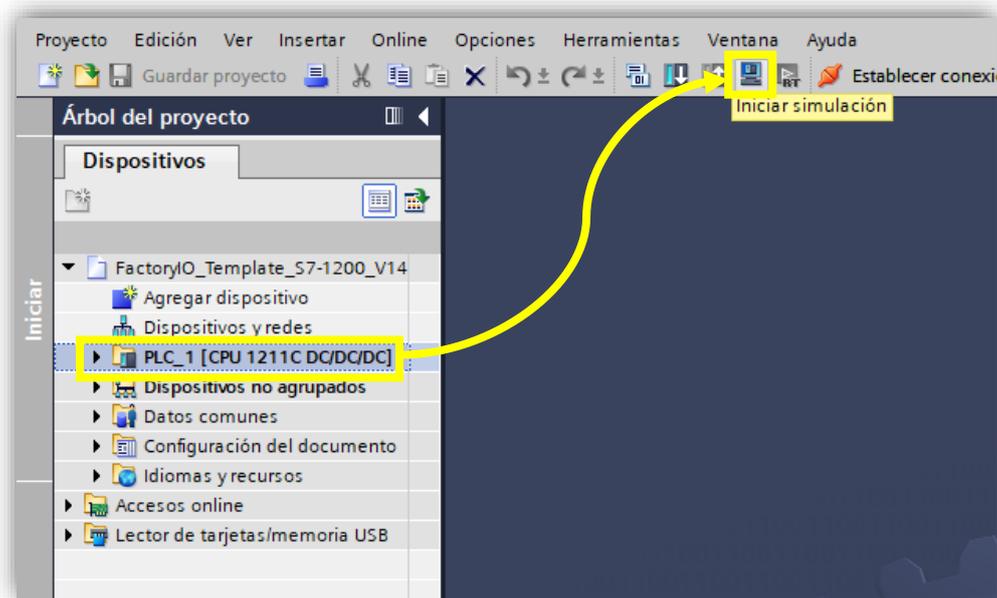


Imagen 92:Habilitación PLCSim

4. Tras hacer clic en el botón de iniciar simulación, pueden plantearse dos situaciones:
 - a. Se inicia la compilación del programa y se ejecuta de manera automática una instancia de PLCSim
 - b. Se despliega una ventana como en la Imagen 94. En ese caso se debe:
 - i. Abrir manualmente PLCSim y se desplegará la ventana de la Imagen 93.
 - ii. Seleccionar el PLC según la plantilla descargada (1)
 - iii. Hacer clic el botón de encendido del PLC (2)
 - iv. Poner en estado RUN el PLC (3)
 - v. Al cabo de unos segundos el indicador luminoso de RUN/STOP se pondrá de color verde (4)



Imagen 93: PLCSim

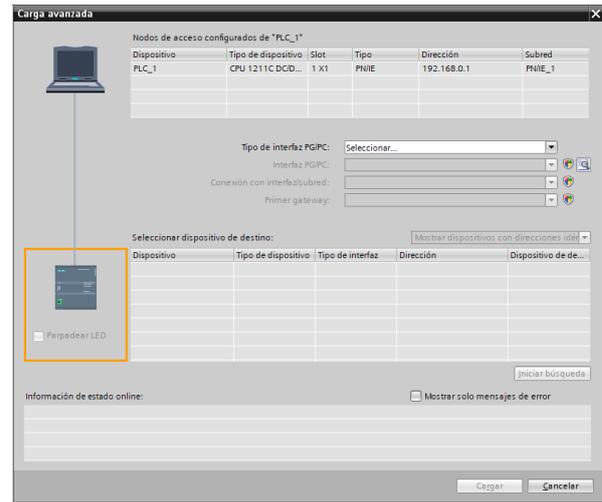


Imagen 94: Carga avanzada TIA Portal

5. Ejecutar Factory IO y abrir una escena nueva o cargar una ya existente.
6. Seleccionar Archivo → Drivers o bien pulsar la tecla F4.

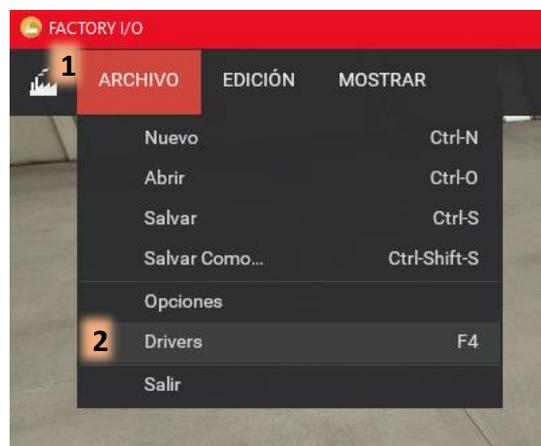


Imagen 95: Menú Archivo.

7. En el desplegable que se muestra en la parte superior elegir "Siemens S7-PLCSIM" Imagen 97 y a continuación hacer clic en "Conectar" en la parte superior de la ventana. Tras unos segundos aparecerá en la parte superior un *tick* de fondo verde que indica que se ha establecido la comunicación (Imagen 96).



Imagen 96: Estado correcto de la comunicación.

8. Finalmente se deberán arrastrar las variables de los sensores/actuadores a las direcciones de entradas/salidas que se hayan programado en TIA Portal.

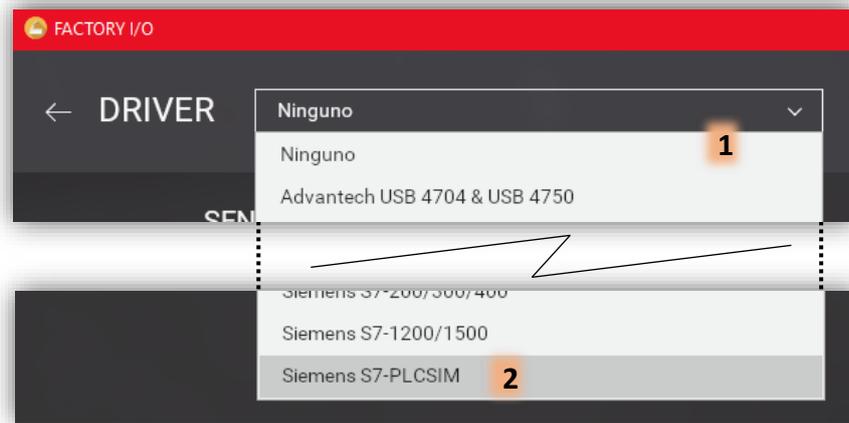


Imagen 97: Drivers de comunicación en Factory IO

5.2 Comunicación TIA Portal y Wonderware

Para hacer posible la comunicación de TIA Portal con Wonderware se ha hecho uso de NettoPLCSim y KepServerEX6. La configuración necesaria de cada uno de los softwares implicados se detalla a continuación:

5.2.1 NettoPLCSim

NettoPLCSim es un software libre que permite establecer un canal de comunicación con PLCSim a través del puerto 102 y siguiendo el estándar TCP/IP. Al no estar utilizando un PLC real, no se dispone de un puerto ethernet donde poder conectarnos y transferir por cable datos a cualquier otro dispositivo. Es en este punto donde NettoPLCSim permite la realización de esta comunicación sin la necesidad de disponer de manera física de dicho puerto ethernet, ya que genera el canal de comunicación vía software (Imagen 98).



Imagen 98: Comunicación NettoPLCSim con TIA Portal.

Para conectar NettoPLCSim con PLCSim:

1. Tener un proyecto compilado y cargado en PLCSim
2. Ejecutar en modo administrador NettoPLCSim
3. En la ventana que se despliega: Tools → Get Port 102 (Es importante que se haya ejecutado PLCSim como administrador, sino este paso no se podrá realizar). Si todo va correctamente deberá aparecer en la parte inferior de la ventana "Port 102 OK", ver Imagen 99. A continuación, hacer clic en el botón "Add".



Imagen 99: Estado correcto puerto 102.

- Se desplegará una ventana como la de la Imagen 100. Hacer clic sobre los tres puntos que aparecen al lado del campo "Network IP Address" y seleccionar la opción que se nos muestre en la nueva ventana.

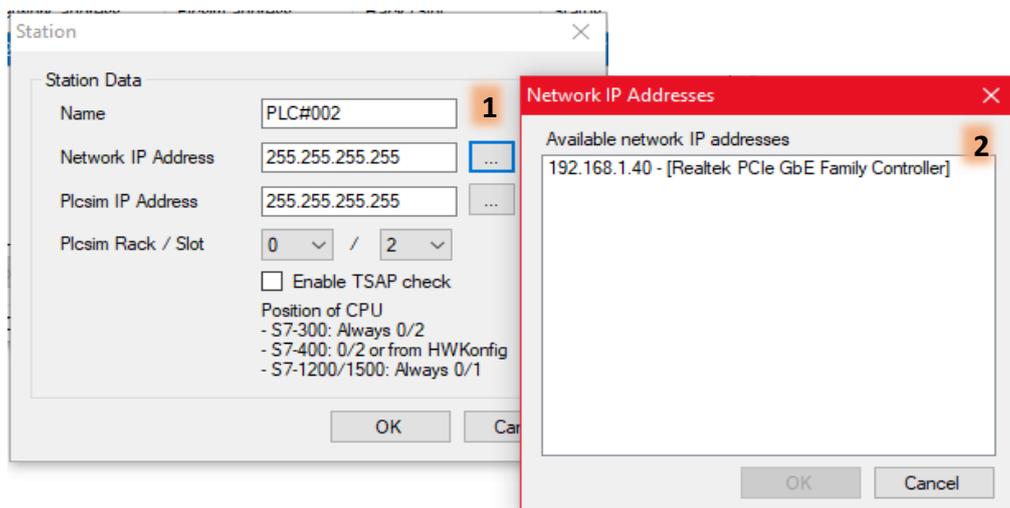


Imagen 100: Selección de la tarjeta de red.

- Repetir el mismo proceso que en apartado 4, pero para el campo "PLCSim IP Address".
- En caso de que se nos muestre un mensaje de error como el de la Imagen 101, se deberá deshacer y volver a establecer la comunicación de TIA Portal con PLCSim y nuevamente repetir el paso 5.

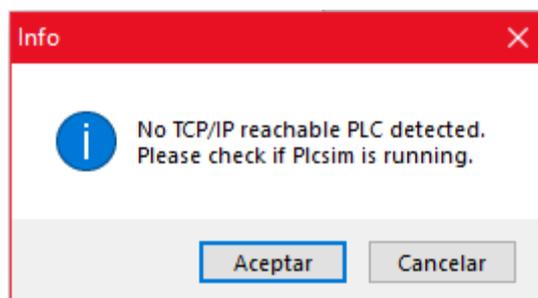


Imagen 101: Error PLC no detectado.

- Una vez configurados estos dos campos, pulsar "OK" y a continuación "Add".
- La comunicación se habrá establecido correctamente.

5.2.2 KepServerEx6

KepServer se trata de un software que permite el intercambio de datos e información entre diferentes sistemas de automatización. La información se interpreta y traduce debido a que es capaz de trabajar con un gran número de protocolos diferentes. Para este caso concreto, la finalidad de KepServer es hacer de puente de comunicación entre NettoPLCSim y Wonderware. La comunicación con NettoPLCSim se realiza acorde al estándar TCP/IP y la comunicación con Wonderware siguiendo el estándar SuiteLink (Imagen 102). Este último protocolo se encuentra basado en el estándar TCP/IP y fue creado por Wonderware de manera específica para los entornos de fabricación industrial.



Imagen 102: Comunicaciones de KepServerEX.

La versión de KepServer utilizada es una versión gratuita cuyo funcionamiento está restringido a dos horas, por lo que transcurrido ese tiempo será necesario cerrar el programa y establecer la comunicación nuevamente.

A continuación, se detalla el procedimiento a seguir para poder configurar y establecer las comunicaciones con NettoPLCSim y Wonderware desde KepServerEX:

1. Ejecutar KepServer.
2. En la parte izquierda de la ventana principal, clic derecho en la opción *“Connectivity”* y a continuación seleccionar *“New Channel”*
3. En la ventana emergente seleccionar *“Siemens TCP/IP Ethernet”* y pulsar *Siguiente*.
4. Asignar un nombre al canal de comunicación y a continuación en la siguiente ventana seleccionar el adaptador de red de nuestro equipo.
5. En la sucesivas ventanas no debe ser modificado nada y basta con ir haciendo clic en *“Siguiente”*.
6. El canal de comunicación creado aparecerá en la parte izquierda de la ventana. Al seleccionarlo aparecerá la opción *“Click to add new device”*, hacer clic y a continuación dar un nombre al dispositivo que vamos a añadir, en este caso un PLC.
7. Seleccionar el tipo de PLC con el que se está realizando la simulación en TIAPortal y a continuación introducir la dirección IP generada por NettoPLCSim. Para conocer dicha dirección, abrir NettoPLCSim y consultar la columna Network Address (Imagen 103)

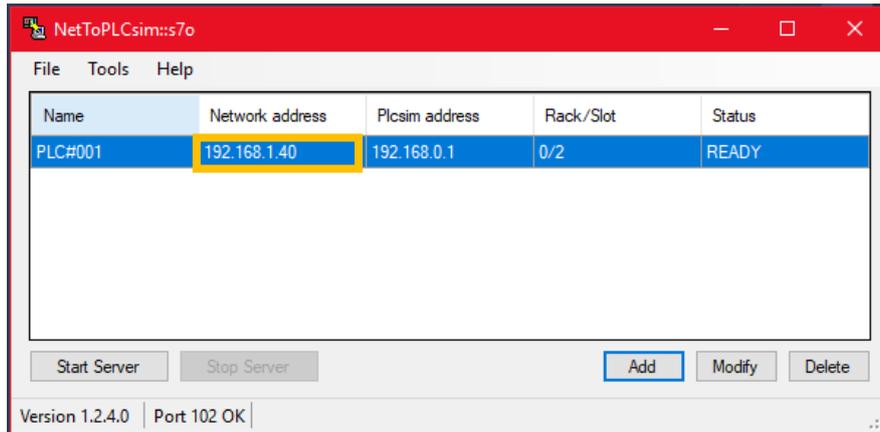


Imagen 103: IP generada por NETtoPLCSim.

8. En las sucesivas ventanas, no se debe modificar nada, por lo que basta con hacer clic en "Siguiente" en todas ellas.
9. Una vez añadido el dispositivo, se deben añadir las variables cuyos datos se quiere intercambiar. Para ello clic derecho sobre el nombre del dispositivo en el arbol de proyecto, "Add new tag" y en la ventana que se despliega asignar un nombre y la dirección a la variable. La direccion debe ser la que tenga dicha variable en TIAPortal. Repetir este proceso con todas las variables que se desee.

Llegados a este punto, las configuraciones necesarias para la comunicación de KepServer con NettoPLCSim estarán terminadas, pero será necesario realizar algunas configuraciones a mayores, para que la comunicación con Wonderware sea posible.

Es fundamental que al realizar la instalación de KepServer, se haya instalado el protocolo SuiteLink, de lo contrario será imposible establecer la comunicación con Wonderware. Si no se tiene la certeza de ello, bastará con ejecutar nuevamente el instalador de KepServer, seleccionar la opción de modificar instalación y en el paso de seleccionar los "Servidores de comunicación" comprobar si está instalado Wonderware SuiteLink (Ver Imagen 104), de lo contrario, instalarlo.

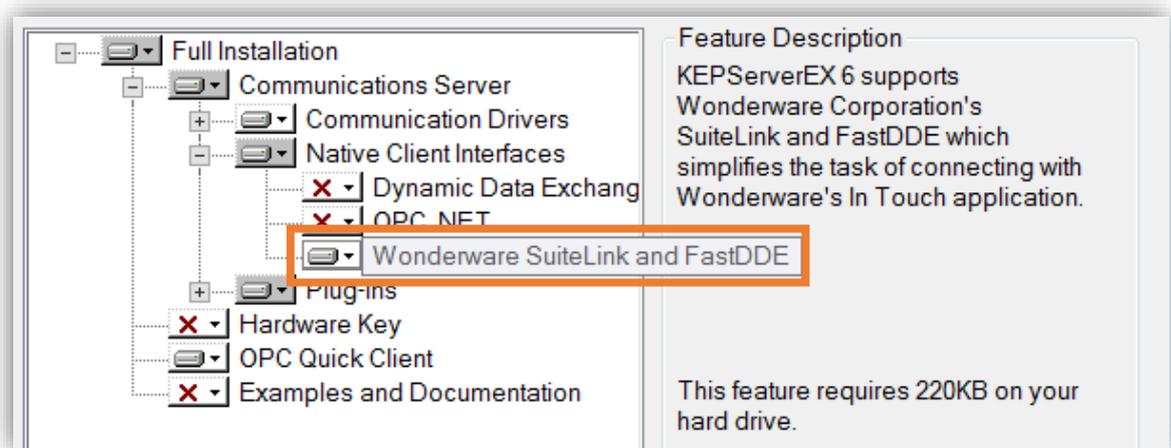


Imagen 104: Instalación protocolo SuiteLink

A la hora de establecer la comunicación con Wonderware se deben definir tres parámetros a los que denominan: “Application Name”, “Topic” y “Alias”.

- **Application Name:** Por defecto en este campo viene escrito “server_runtime” y no es estrictamente necesario modificarlo, si bien es verdad, conviene darle un apelativo más clarificante. Para modificarlo basta con hacer clic derecho sobre “Project” que se encuentra en el árbol de proyecto a la izquierda de la ventana principal. En la ventana que se despliega seleccionar la opción “Fast DDE/SuiteLink” y a continuación en el campo “Application Name” introducir el nombre deseado. (Ver Imagen 105:)
- **Topic:** Formado por la unión del nombre del canal de comunicación y el nombre del dispositivo añadido, ambos separados por un punto ({3} en Imagen 105:).

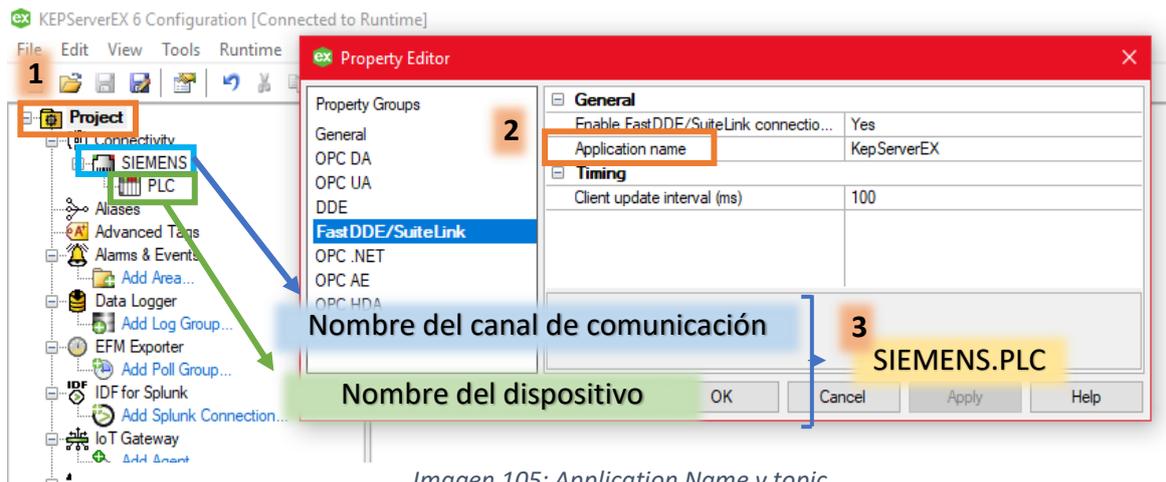


Imagen 105: Application Name y topic.

- **Alias:** Los alias son los nombres con los que se identifica a los Topic. Para crearlo, clic derecho sobre “Alias” en el árbol de proyecto, “New Alias”, y en la ventana emergente asignar un nombre (2) y el Topic al que está vinculado el Alias, ver Imagen 106:.

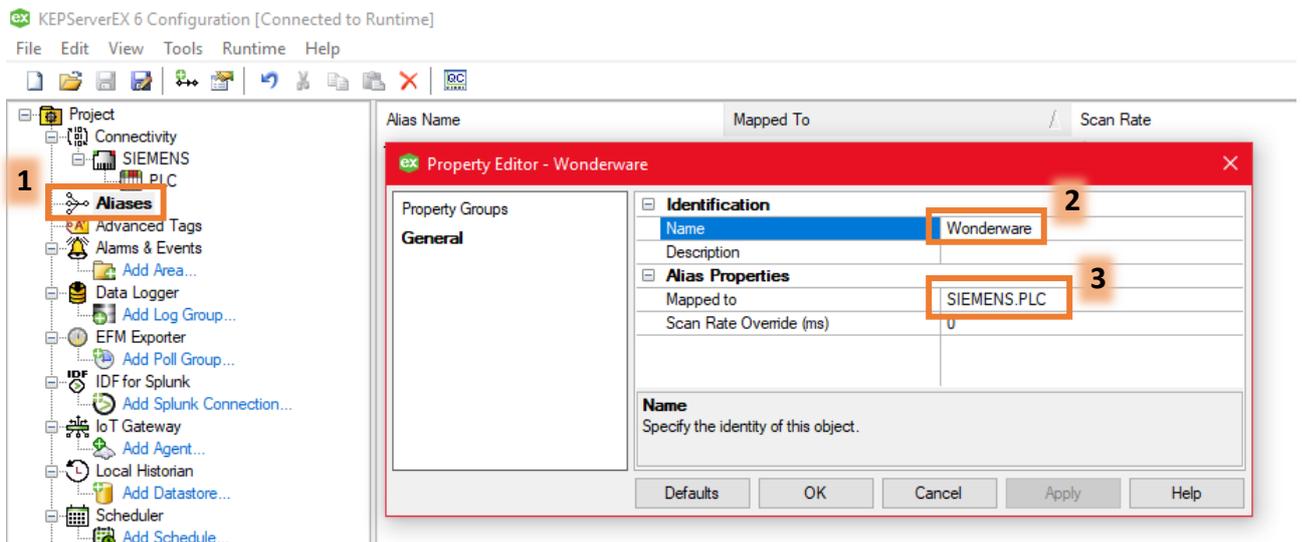


Imagen 106: Creación de un alias

5.2.3 Wonderware

Wonderware constituye el último eslabón de la cadena y por tanto el destino final de los datos. Como se ha mencionado anteriormente, la comunicación de Wonderware con KepServer se realiza siguiendo el protocolo SuiteLink y es necesario realizar algunas configuraciones desde Wonderware para poder establecer dicha comunicación. Concretamente se deben definir los parámetros “Application Name”, “Topic” y “Alias”, pero en esta ocasión desde Wonderware.

Una vez que se ha ejecutado Wonderware InTouch:

1. Clic en “Special”
2. Access Names
3. Add
4. Asignamos un nombre al Acces Name y completamos el resto de campos en función de los nombres que se hayan asignado a “Application Name” y “Topic” en KepServer.

Con este último paso la configuración de las comunicaciones desde PLCsim hasta Wondeware habría quedado finalizada.

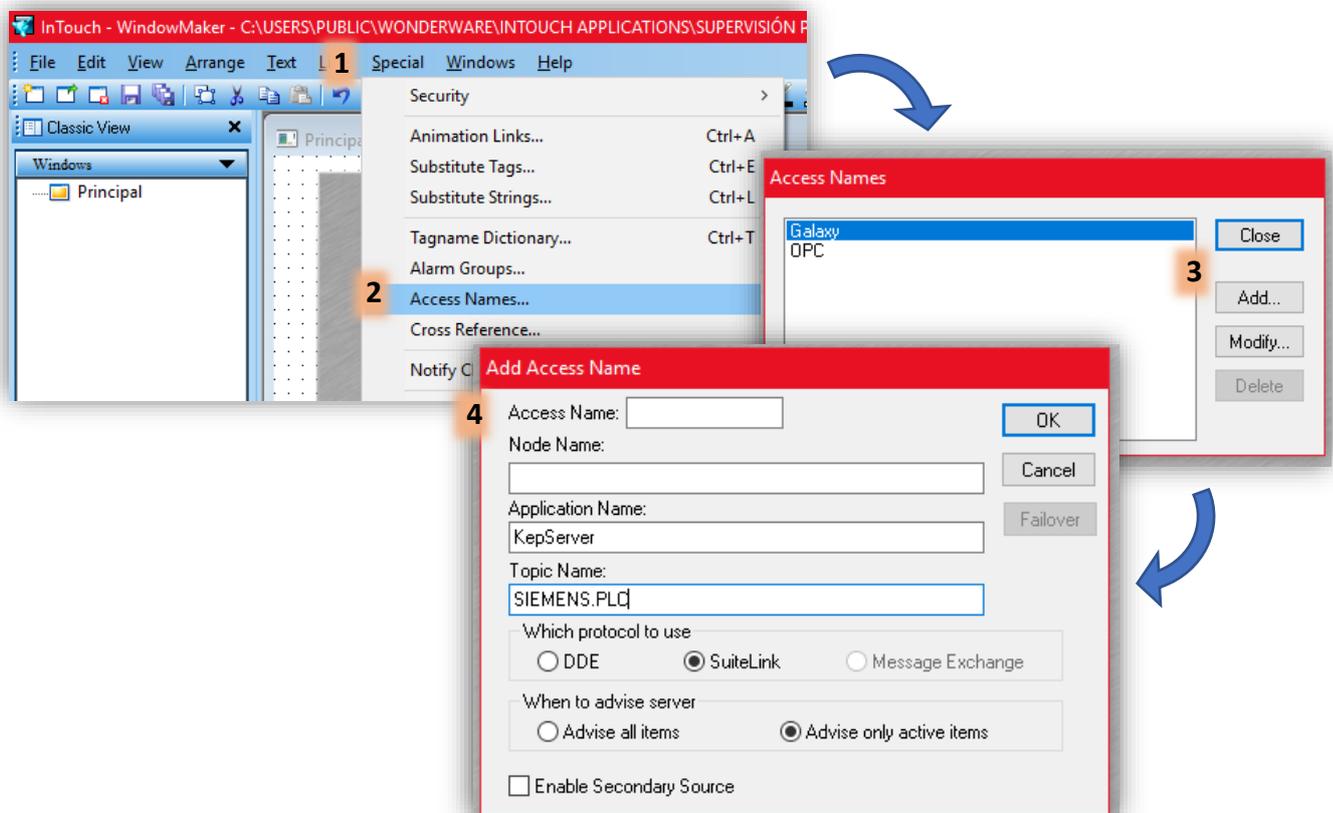


Imagen 107: Configuración comunicaciones InTouch.

Capítulo 6:

Estimación costes directos

A continuación, se recoge una estimación de los costes directos que han supuesto el desarrollo del presente trabajo de fin de máster:

- **Hardware:** Ordenador Portatil HP i7, 8Gb RAM, 512 SSD 625 €
- **Software:**
 1. Licencia Factory IO modalidad Siemens 154€/año
 2. Licencia TIA Portal STEP7 V14 Basic 455 €/año
 3. Licencia educativa Wonderware 385 €/año
 4. Licencia NetToPLCSim 0 €/año
 5. Licencia KepServer Version Gratuita 0 €/año
- **Dedicación:** En la Tabla 4 se recoge la dedicación horaria en cada uno de los ejes fundamentales que constituyen el TFM y su coste asociado. Se ha fijado un coste de 10,3 €/hora para un ingeniero junior.

		Horas	€
Factory IO	Aprendizaje	7	72,1 €
	Diseño del proceso	120	1236
Siemens	Aprendizaje	50	515
	Programación	200	2060
Wonderware	Aprendizaje	8	82,4
	Diseño SCADA	55	566,5
Comunicaciones		15	154,50
		455	4686,5 €

Tabla 4: Dedicación horaria y coste.

La suma de todos los costes descritos anteriormente lleva a establecer que los costes directos de la realización del presente TFM ascienden a 6305,5 €.

Capítulo 7:

Conclusiones

Tras un largo periodo de investigación y dedicación a la elaboración de este trabajo de fin de máster, y tras haber superado numerosos problemas de diseño, configuración y programación, se puede exponer que:

- I. Se ha implementado satisfactoriamente una primera aproximación a un gemelo digital de proceso que representa una línea de fabricación completa de productos de carácter plástico.
- II. Se han adquirido gran cantidad de conocimientos en la programación de autómatas de la familia Siemens, los cuales han podido ser utilizados en el desarrollo de un sistema de control basado en un controlador lógico programable (PLC) que permite el correcto funcionamiento del proceso productivo.
- III. Se ha desarrollado un sistema SCADA destinado a la supervisión del proceso con el que poder controlar el estado de funcionamiento de las distintas máquinas, así como el control de existencias dentro del almacén.
- IV. Con todo lo anterior, se ha creado finalmente un sistema global interconectado que permite probar el funcionamiento de un proceso productivo, la detección de posibles errores y la implementación de distintas modificaciones; todo ello de manera virtual. Este hecho abre la puerta a la implementación futura del proceso real con elevadas garantías de éxito.

Bibliografía:

- [1] Chatalouf, G. (29 de Mayo de 2020). Dassault Systemes. *Webinar Digital Twins*.
- [2] Kepware. (Junio de 2020). *Plataforma KepserverEX*. Obtenido de <https://www.kepserverexopc.com/>
- [3] Lagándara, V. d. (2017). *Diseño y programación de varias estaciones de trabajo mediante el uso de PLC y softwares específicos*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- [4] Mandado Pérez, E., Marcos Acevedo, J., Fernández Silva, C., & Armesto Quiroga, J. (2011). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Barcelona: Marcombo.
- [5] NetToPlcSim. (Junio de 2020). *Network extension for Plcsim*. Obtenido de <http://nettoplcsim.sourceforge.net/index.html>
- [6] Peón, C. d. (2019). *Los gemelos digitales en la Industria 4.0*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- [7] Sánchez, J. M. (2018). *Diseño de un sistema de control distribuido usando Factory IO y Codesys V3*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- [8] Serrano, A. S. (2017). *Aplicacion del software Wonderware a simuladores industriales de procesos*. Valladolid: Universidad de valladolid.
- [9] Siemens. (Junio de 2020). *SIMATIC PLC S7-1200*. Obtenido de <https://new.siemens.com/mx/es.html>
- [10] Sirvent, S. J. (2018). *Programación de un almacén automático de pallets*. Valencia: Universidad de Valencia.

Anexo 1: Introducción a Factory IO

En este anexo se presenta una introducción al manejo del software Factory para poder establecer una primera toma de contacto y facilitar al usuario los primeros pasos con el programa.

La introducción al programa se va a realizar en tres apartados: Interfaz de usuario, modo edición y modo ejecución.

Interfaz de usuario:

Al abrir por primera vez el programa se muestra una vista como la de la Imagen 108, en ella podemos diferenciar tres zonas:

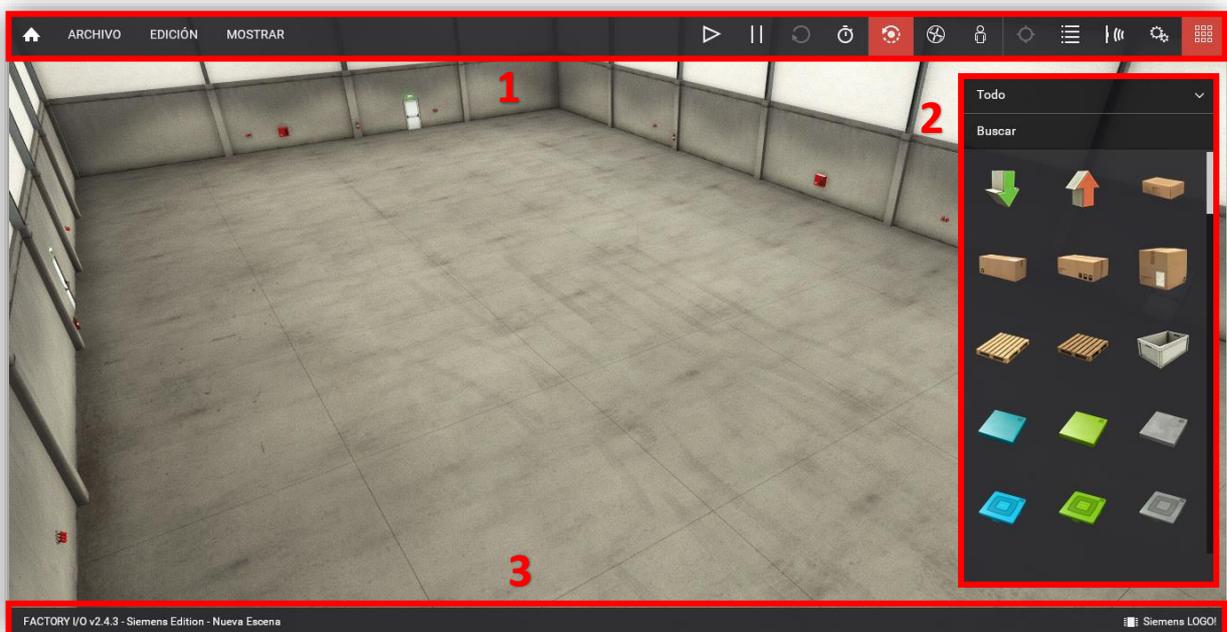


Imagen 108: Vista general Factory IO.

Zona 1: Barra de herramientas.

De izquierda a derecha podemos observar:

- **Pestaña archivo:** Permite abrir y guardar nuevas escenas, modificar opciones generales del programa y establecer las comunicaciones con otros programas o controladores.
- **Pestaña edición:** Dispone de opciones como copiar, pegar o seleccionar elementos de la escena.
- **Pestaña mostrar:** Destinada a configurar aquellos aspectos que se desea que se vean sobre la escena como son el nombre de las variables, el rango de los sensores, controles de navegación, estadísticas del funcionamiento, entre otros.
- **Botones Play/Pause:** Para arrancar o detener la simulación.

- **Botones de cámaras:** Son tres y permiten alternar entre el modo de desplazarse a través de la escena.
- **Fijar elemento:** Al seleccionar esta opción y clicar sobre un elemento la cámara se desplazará siguiendo al elemento seleccionado.
- **Cámaras guardadas:** Distintas vistas de la escena que han sido guardadas.
- **Botones de mostrar/ocultar sensores/actuadores:** Permiten visualizar las variables vinculadas a los sensores y actuadores respectivamente.
- **Paleta:** Muestra u oculta la paleta de elementos.

Zona 2: Paleta de elementos.

En ella se muestran todos los elementos disponibles en Factory IO para introducir en una simulación. Para facilitar la tarea de búsqueda del elemento, en la parte superior de la paleta se dispone de un buscador y de un desplegable que clasifica todos los elementos en distintos grupos.

Zona 3: Barra de estado.

Muestra información sobre el estado de Factory IO. Información como la versión que está siendo utilizada, el tipo de licencia, el nombre de la escena y el estado de la conexión con algún controlador.



Imagen 109: Barra de estado.

Modo de edición:

El modo de edición permite la creación del entorno 3D de fabricación por medio de la introducción e interconexión de elementos de proceso.

- **Creación:** Para crear o introducir un nuevo elemento bastará con hacer clic sobre el elemento deseado en la paleta y arrastrarlo a la escena.
- **Posicionamiento:** Una vez introducido el elemento en la escena para posicionarlo bastará con hacer clic sobre él y desplazarlo horizontalmente al punto que se desee. Si al mismo tiempo que se hace clic izquierdo se presiona la tecla V el desplazamiento realizado será vertical. Para orientar angularmente el elemento bastará con seleccionarlo y al mismo tiempo que se mantiene pulsada la tecla Ctrl pulsar las teclas R, T o Y para producir los movimientos de alabeo, cabeceo y guiñada respectivamente. Estos mismos movimientos se pueden conseguir haciendo clic derecho sobre el elemento y seleccionando la opción deseada (Imagen 110).



Imagen 110: Movimientos.

- **Configuración:** Gran cantidad de los elementos que pueden ser introducidos en las escenas de simulación presentan distintos métodos de funcionamiento en cuanto a sus sensores y actuadores de los que disponen. Para poder modificar su configuración se deberá hacer clic derecho el elemento en cuestión y en el apartado configuración, seleccionar el modo de funcionamiento deseado (Imagen 111).

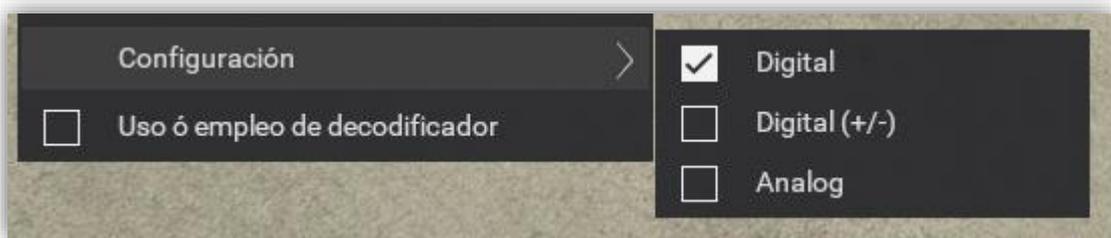


Imagen 111: Configuración de elementos.

Todo elemento que al ser ubicado se ilumine de color rojo, indica que la posición que se le ha asignado no es válida y debe ser modificada.

Modo de ejecución

La transición del modo de edición al modo de ejecución se realiza por medio del botón *Play*. El modo de ejecución pone en funcionamiento todo el proceso, bien, controlado por un software externo o bien mediante un control directamente desde el propio Factory IO. Este segundo tipo de control se recomienda antes de empezar el proceso de automatización para comprobar el diseño realizado. Para ello bastará con hacer clic sobre el nombre de las variables y automáticamente en la parte superior izquierda se desplegará una ventana con la que poder controlar dichas variables (Imagen 112).



Imagen 112: Control de variables desde Factory IO

Si la variable está siendo forzada el icono al lado de ella aparecerá iluminado de color azul y si por el contrario no está siendo forzada, los símbolos al lado de los sensores aparecerán iluminados de color naranja y los de los actuadores de color verde.

Anexo 2: Conceptos básicos TIA Portal

Ciclo de Scan: Secuencia de operaciones que realiza el autómata de manera repetitiva. Estas operaciones se ejecutan en el siguiente orden: Lectura de variables de entrada, ejecución del programa de usuario, actualización de las variables de salida, comprobación de las comunicaciones y diagnóstico de la CPU.

DB – Bloques de datos: Permiten almacenar los valores de las variables del programa durante su ejecución. Este tipo de bloques sólo almacenan información y no contienen ningún tipo de instrucción de programación. Existen dos tipos de DBs que se diferencian en función de qué bloques pueden acceder a la información que guardan:

- **DB global:** Cualquier bloque puede acceder a la información que contienen.
- **DB de instancia:** Sólo los bloques de tipo FB pueden tener acceso a la información que almacenan.

FB – Bloque de función: Se trata de un tipo de bloque muy similar a las funciones, pero se diferencia de ellas en que tienen una DB de instancia asignado. Siempre que se declare una FB deberá tener vinculada su correspondiente DB de instancia. Este tipo de bloques está destinado al control de elementos que se repiten, por ejemplo, el control de dos motores idénticos podrá realizarse con una misma FB, teniendo asignada una DB de instancia para el motor 1 y otra para el motor 2. Sería lo más similar a las clases en programación orientada a objetos.

FB de multinstancia: Se trata de un tipo especial de FB que en su interior contiene a su vez otras FBs. Cada una de estas FBs se define como un tipo de dato dentro de la DB de instancia de la FB principal. Esta técnica se utiliza cuando se debe hacer uso de una misma FB en muchas ocasiones.

FC – Función: Una FC es un tipo de bloque que permite estructurar un programa. Dentro de ellos se pueden definir instrucciones de programación para realizar determinadas funciones o pueden contener nuevos bloques.

KOPP: Tipo de lenguaje de programación de autómatas. Se trata de un lenguaje de programación gráfico y uno de los más extendidos a nivel industrial. Consta de dos elementos básicos: contactos y bobinas.

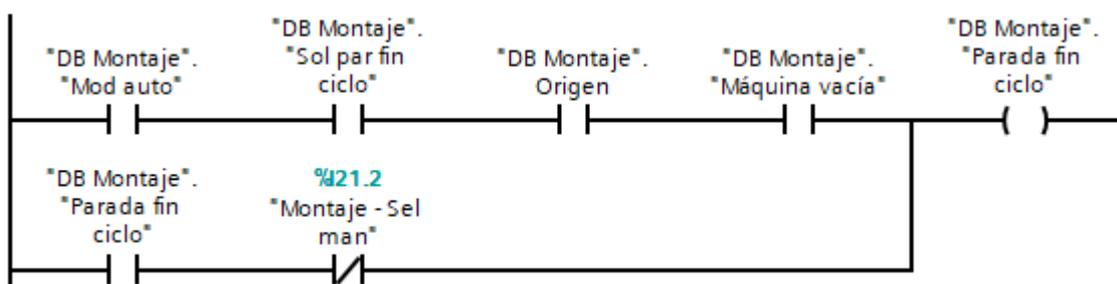


Imagen 113: Lenguaje KOPP.

OB – Bloques de organización: Un OB es un tipo de bloque llamado por el sistema operativo de forma cíclica y constituye la interfaz entre el programa de usuario y el sistema operativo. Existen numerosos OBs cada uno con una función específica, siendo el más importante de todos ellos el OB1. Dentro de este bloque se encuentra estructurado todo el resto del programa y su uso es imprescindible en cualquier proyecto de automatización.

SCL: Lenguaje de programación de alto nivel basado en texto. Generalmente se usa para operaciones complejas en las que la utilización del lenguaje KOP no sería adecuado debido a la mayor complejidad de lo que se desea programar.

```
1 //Cuando el valor de #hueco es 55, el carro se queda en el origen
2
3 CASE #Zona OF
4     0:
5         FOR #i := 1 TO 18 DO
6             IF "DB Gestión estantería".Ocupación[#i] = 0 THEN
7                 #hueco := #i;
8                 #lleno := 0;
9                 EXIT;
10            ELSE
11                IF #i = 18 THEN
```

Imagen 114: Lenguaje SCL.

Word: Tipo de variable que presenta un tamaño de 16 bits y está destinada a almacenar números enteros sin signo. Los valores numéricos que puede almacenar van desde el 0 hasta el 65.535.