

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA

## TRABAJO FIN DE GRADO

# ***SISTEMA DE CONTROL 4.0 PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE EMBOTELLADO DE NORBEGA S.L.***

**Alumno/Alumna:** <Rodríguez, Minguito, Ander>

**Director/Directora:** <Burgos, Fernández, Arantza>

**Curso:** <2018-2019>

**Fecha:** <Bilbao, 26, Junio, 2019>

# Resumen trilingüe y palabras clave

## Castellano

Se ha hecho un estudio completo de la línea de embotellado de vidrio de la empresa Norbega S.L. y un análisis a fondo de las estaciones de despaletizado, desencajonado y lavado. Para ello se ha utilizado la metodología **MeiA●**, la cual guía el desarrollo de software de control en el ámbito de la ingeniería de automatización de procesos. Una vez finalizado el análisis y realizado el diseño mediante lenguaje de modelado GRAFCET se ha realizado la implementación en un PLC S7-1500 de Siemens y desarrollado cada una de las pantallas HMI para cada una de las estaciones. Finalmente se ha realizado el diseño del sistema del control general y su implementación para el control simultáneo de las estaciones.

*Automatización, Industria 4.0, PLC, Arquitectura de referencia, Componente I4.0*

## Ingles

A complete study of the glass bottling line of the company Norbega S.L. and in-depth analysis of the depalletizing, unboxing and washing stations has been carried out. For this purpose, the **MeiA●** methodology has been used which guides the development of control software in the field of process automation engineering. Once the analysis has been completed and the design was carried out using the GRAFCET modelling language, the implementation has been carried out in a Siemens S7-1500 PLC and developed each of the HMI displays for each of the stations. Finally, the design of the general control system and its implementation for simultaneous control of the stations has been carried out.

*Automatization, 4.0 Industry, PLC, Reference architecture, I4.0 component*

## Euskera

Norbega S.L. enpresaren beira botilaratze lerroarekiko ikerketa osoa egin da, bai eta garbiketa, deskajoitze eta deshitzatze estazioen azterketa sakona ere. Honetarako, **MeiA●** metodologia erabili da, prozesu automatizazio ingeniartzan, kontrolerako softwarearen garapena gidatzen duena. Azterketa bukatzerakoan eta diseinua GRAFCET lengoia moderatuaren bitartez egin ostean, Siemens etxeko PLC S7-1500 batean egin da inplementazioa eta estazio bakoitzarentzako HMI pantaila denak garatu dira. Azkenik, kontrol orokorreko sistemaren diseinua garatu da, bere estazioen aldi bereko kontrolaren inplementazioarekin batera.

*Automatizazioa, Industria 4.0, PLC, Erreferentzia arkitektura, I4.0 osagaia*

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Contexto .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos y alcance .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Estado del arte .....</b>	<b>12</b>
3.1	Industria 4.0.....	12
3.2	Arquitecturas de referencia .....	13
3.3	Estándares .....	16
3.4	CPS(Ciber Physical Systems) .....	17
3.5	Asset Administration Shell .....	17
3.6	Sistemas Mecatrónicos.....	19
3.7	Metodología MeiA• 4.0.....	19
<b>4</b>	<b>Descripción complete de la planta .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Descripción del proyecto .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Especificación de requisitos despaletizado .....</b>	<b>32</b>
6.1	Operaciones .....	32
6.2	Sistema físico .....	33
6.3	Modos de funcionamiento .....	35
6.3.1	Automático .....	35
6.3.2	Manual.....	35
6.3.3	Parada de emergencia .....	35
6.4	Condiciones de arranque .....	36
6.5	Sistema de supervisión.....	36
6.6	Señales .....	37
6.6.1	Entradas.....	37
6.6.2	Salidas.....	38
6.6.3	Señales de control.....	38
6.7	Análisis y diseño .....	39
6.7.1	GEMMA.....	39
6.7.2	Diseños .....	40
6.7.2.1	Graficets.....	40
<b>7</b>	<b>Especificación de requisitos desencajonado.....</b>	<b>46</b>

7.1	Operaciones .....	46
7.2	Sistema físico .....	47
7.3	Modos de funcionamiento .....	49
7.3.1	Automático .....	49
7.3.2	Manual.....	49
7.3.3	Parada de emergencia .....	49
7.4	Condiciones de arranque .....	49
7.5	Sistema de supervisión .....	50
7.6	Señales .....	51
7.6.1	Entradas .....	51
7.6.2	Señales de control.....	51
7.6.3	Salidas.....	52
7.7	Análisis y diseño .....	53
7.7.1	GEMMA.....	53
7.7.2	Diseños .....	54
7.7.2.1	Graficets.....	54
<b>8</b>	<b>Especificación de requisitos lavadora .....</b>	<b>61</b>
8.1	Operaciones .....	61
8.2	Sistema físico .....	62
8.3	Modos de funcionamiento .....	63
8.3.1	Automático .....	63
8.3.2	Manual.....	64
8.3.3	Parada de emergencia .....	64
8.4	Condiciones de arranque .....	64
8.5	Sistema de supervisión .....	64
8.6	Señales .....	65
8.6.1	Entradas .....	65
8.6.2	Salidas.....	65
8.6.3	Señales de control.....	66
8.7	Análisis y diseño .....	66
8.7.1	GEMMA.....	66
8.7.2	Diseños .....	68

8.7.2.1	Grafkets .....	68
<b>9</b>	<b>Control General .....</b>	<b>75</b>
9.1	Modos de funcionamiento .....	75
9.1.1	Automático .....	75
9.1.2	Manual.....	76
9.2	Condiciones de arranque .....	76
9.3	Sistemas de supervisión .....	76
9.4	Señales .....	77
9.4.1	Señales de control.....	77
9.5	Análisis y diseños.....	78
9.5.1	Diseños .....	78
9.5.1.1	Grafkets .....	78
<b>10</b>	<b>Implementación.....</b>	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>Terminología .....</b>	<b>89</b>
<b>12</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE FIGURAS

Fig. 1 Esquema industria 4.0 .....	13
Fig. 2 Arquitectura RAMI.....	14
Fig. 3 Arquitectura IIRA (Burgos Fernandez & Sarachaga Gonzalez, 2019, pág. 19) .....	14
Fig. 4 Arquitectura NIST (Burgos Fernandez & Sarachaga Gonzalez, 2019, pág. 19) .....	15
Fig. 5 Arquitectura IMSA (Burgos Fernandez & Sarachaga Gonzalez, 2019, pág. 22) .....	16
Fig. 6 Ciclo estándar de vida de “Technical asset” (Epple, 2016, pág. 5).....	18
Fig. 7 El curso de valor típico de un “technical asset” (Epple, 2016, pág. 5) .....	18
Fig. 8 Categorías de “technical asset” (Epple, 2016, pág. 5).....	18
Fig. 9 Estándares metodología MeiA.●.....	20
Fig. 10 Esquema metodología MeiA.●.....	20
Fig. 11 Localización planta Coca Cola.....	24
Fig. 12 Diagrama planta completa .....	25
Fig. 13 Robot despaletizador .....	25
Fig. 14 Salida cajas alineadas .....	25
Fig. 15 Entrada cajas alineadas.....	26
Fig. 16 Succionador botellas.....	26
Fig. 17 Cinta entrada lavadora de botellas .....	26
Fig. 18 Cinta de verificación.....	27
Fig. 19 Maquina de llenado de botellas .....	28
Fig. 20 Salida de botellas.....	29
Fig. 21 Esquema general de la programación .....	30
Fig. 22 Esquema general del proyecto .....	31
Fig. 23 Pantallas HMI.....	31
Fig. 24 Robot despaletizador .....	32
Fig. 25 Cajas alineadas .....	32
Fig. 26 Árbol despaletizado .....	33
Fig. 27 Modulo despaletizado (Lopez Recio & Mérida Padial, 2013).....	33
Fig. 28 HMI despaletizado .....	36
Fig. 29 GEMMA despaletizado .....	39
Fig. 30 Lista grafcet despaletizado .....	40
Fig. 31 Grafcet secuencia principal despaletizado.....	40
Fig. 32 Grafcet condiciones iniciales .....	41
Fig. 33 Grafcet Entrada de palets .....	42
Fig. 34 Grafcet cinta robot .....	43
Fig. 35 Grafcet de salida de cajas .....	44
Fig. 36 Grafcet emergencia despaletizado .....	45
Fig. 37 Grafcet modo manual despaletizado .....	45
Fig. 38 Entrada cajas alineadas.....	46
Fig. 39 Succionador de botellas.....	46

Fig. 40 Succionador de botellas.....	46
Fig. 41 Arbol desencajonado .....	47
Fig. 42 Imagen desencajonado (Lopez Recio & Mérida Padial, 2013) .....	47
Fig. 43 HMI Desencajonado .....	50
Fig. 44 GEMMA desencajonado .....	53
Fig. 45 Lista grafkets desencajonado .....	54
Fig. 46 Grafket condiciones iniciales desencajonado .....	54
Fig. 47 Grafket Condiciones iniciales desencajonado .....	55
Fig. 48 Grafket entrada de cajas.....	56
Fig. 49 Grafket maquina rotatoria .....	57
Fig. 50 Grafket salida de botellas .....	58
Fig. 51 Grafket de emergencia desencajonado .....	59
Fig. 52 Grafket modo manual .....	60
Fig. 53 Botellas en boca lavadora.....	61
Fig. 54 Botellas en lavadora .....	61
Fig. 55 Cinta entrada lavadora.....	61
Fig. 56 Árbol lavadora.....	62
Fig. 57 Imagen modulo lavadora (Lopez Recio & Mérida Padial, 2013) .....	62
Fig. 58 HMI lavadora.....	64
Fig. 59 GEMMA lavadora.....	66
Fig. 60 Lista grafket lavadora.....	68
Fig. 61 Grafket Secuencia principal lavadora .....	68
Fig. 62 Grafket condiciones iniciales lavadora.....	69
Fig. 63 Grafket marcha preparación .....	70
Fig. 64 Grafket lavadora de cajas .....	71
Fig. 65 Grafket entrada lavadora .....	72
Fig. 66 Grafket lavadora de botellas .....	72
Fig. 67 Grafket cinta de salida .....	73
Fig. 68 Grafket control temperatura y sosa.....	73
Fig. 69 Grafket emergencia lavadora.....	74
Fig. 70 Grafket manual .....	74
Fig. 71 Selección HMI.....	75
Fig. 72 HMI control general.....	76
Fig. 73 Lista grafkets control general.....	78
Fig. 74 Grafket Secuencia principal del control general.....	78
Fig. 75 Grafket condiciones iniciales del control general .....	79
Fig. 76 Grafket marcha de preparación del control general .....	79
Fig. 77 Grafket secuencia principal del control general .....	80
Fig. 78 Diagrama del modelo en V .....	81
Fig. 79 Esquema unidades de trabajo del proyecto .....	81
Fig. 80 Esquema de todos los Grafkets .....	82
Fig. 81 Mapa de programa del control general .....	83

Fig. 82 Mapa de programa del despaletizado.....	83
Fig. 83 Mapa de programa del desencajonado.....	84
Fig. 84 Mapa de programa del lavado .....	84
Fig. 85 Grafcet TIA Portal .....	85
Fig. 86 Segmentos del bloque principal.....	85
Fig. 87 Parte secuencial y combinacional.....	86
Fig. 88 Grafcets unidad completa .....	86
Fig. 89 Esquema completo bloques TIA Portal.....	87
Fig. 90 Ejemplo variables despaletizado.....	88
Fig. 91 Ejemplo HMI control general.....	88

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Variables de entrada despaletizado.....	37
Tabla 2 Variables de salida despaletizado.....	38
Tabla 3 Variables de memoria despaletizado.....	38
Tabla 4 Variables entrada desencajonado.....	51
Tabla 5 Variables de control desencajonado.....	51
Tabla 6 Variables de salida desencajonado.....	52
Tabla 7 Variables de entrada lavadora.....	65
Tabla 8 Variables de salida lavadora.....	65
Tabla 9 Variables de control lavadora.....	66
Tabla 10 Variables de control del control general.....	77

# MEMORIA

## 1 Contexto

Este proyecto está desarrollado en el ámbito de la automatización industrial en el sector alimentario y siguiendo los principios que marca la industria 4.0.

El trabajado se ha desarrollado con información procedente de la línea de embotellado de la Compañía Norteña de Bebidas Gaseosas NORBEGA S.L. de la que se ha realizado un estudio global y se han seleccionado tres estaciones para realizar un análisis en profundidad identificando sus operaciones, los elementos que la componen de forma detallada, así como la interrelación entre ellos a la hora de llevar a cabo el proceso productivo, entradas y salidas, y los detalles de su funcionamiento relacionados con las condiciones iniciales, marchas de preparación, puesta en marcha...

Partiendo de los requisitos obtenidos se han desarrollado los sistemas de control directo de cada una de las estaciones seleccionadas y el control general que coordina el funcionamiento de las tres estaciones de modo conjunto. Para el desarrollo se ha seguido una metodología (**MeiA●**) que combina la madurez de las disciplinas de la ingeniería de software con los métodos y estándares del campo de la automatización industrial 4.0.

**MeiA●** (**ME**thodology for **I**ndustrial **A**utomation systems - **ME**todología Ingeniería de **A**utomatización) es una metodología para el desarrollo de software de control en el ámbito de la ingeniería de automatización de procesos. Dicho software abarca tanto los sistemas que realizan el control directo del proceso, como el control general (o controlador de célula) que aborda el control de la producción comandando los sistemas de control directos, las funciones de diálogo con el personal y el tratamiento de la información del proceso.

## 2 Objetivos y alcance

Los objetivos específicos del presente proyecto pueden clasificarse en objetivos de carácter técnico y objetivos de carácter personal.

Objetivos técnicos:

- OT1. Hacer un estudio completo de la línea automatizada de embotellado de vidrio de la empresa Norbega y su posterior selección de las estaciones a desarrollar.
- OT2. Análisis en profundidad de los procesos seleccionados (despaletizado, desencajonado y lavado) para identificar los requisitos de control y supervisión, así como la configuración del HMI.
- OT3. Diseño de los sistemas de control con el lenguaje de modelado GRAFCET para generar las unidades de organización de diseño (DOUs - Design Organization Units).
- OT4. Implementación de los sistemas de control de cada una de las estaciones siguiendo el estándar IEC 61131-3 y de los HMIs para las pruebas.
- OT5. Análisis, diseño e Implementación del sistema de control general.
- OT6. Integración y pruebas del conjunto.

Objetivos personales:

- OP1. Aprender a programar los PLCs S7-1500 y los HMIs con el software TIA Portal V14.
- OP2. Ampliar los conocimientos adquiridos en las asignaturas de informática industrial y automatismos de control.
- OP3. Ampliar conocimientos sobre la industria 4.0.

## 3 Estado del arte

### 3.1 Industria 4.0

#### ¿Qué es la industria 4.0?

El concepto de industria 4.0 surgió en Alemania, y éste, hacía referencia a los populares términos como pueden ser cuarta revolución industrial, ciber industria, industria inteligente etc.

Habría comenzado recientemente y su desarrollo estaría proyectado hacia la segunda década del siglo XXI. La inteligencia artificial es señalada como elemento central de esta transformación, íntimamente relacionada la acumulación creciente de grandes cantidades de datos (big data), el uso de algoritmos para procesarlos y la interconexión masiva de sistemas y dispositivos digitales. (Wikipedia, Industria 4.0, 2019)

Aunque todos estos términos puedan ser muy futuristas, la industria 4.0 simplemente consiste en interconectar todas las partes de una empresa dando lugar a una automatización efectiva y una empresa más inteligente

Hay muchas formas en las que las compañías pueden usar este tipo de red de trabajo, como por ejemplo:

- **Producción flexible:** Al producir un producto muchas compañías usan un proceso paso a paso para desarrollar sus productos. Si la red de trabajo esta digitalizada estos pasos pueden ser coordinados mucho mejor y el programa de las maquinas mucho mejor planeado.
- **Fabrica convertible:** Las futuras líneas de producción pueden ser diseñadas por módulos y posteriormente unidas. La productividad y la eficiencia aumentara; los productos individuales pueden ser fabricados en pequeñas cantidades a un precio asequible.
- **Soluciones orientadas al cliente:** Los clientes podrán diseñar sus productos de acuerdo a sus necesidades, como por ejemplo color y talla de las zapatillas. De la misma forma los productos que ya han sido enviados pueden mandar información al fabricante.
- **Logística optimizada:** Mediante algoritmos se puede calcular la ruta ideal para realizar los envíos, reportes independientes de cada máquina cuando necesiten más material...
- **Uso de datos:** Los datos de la producción y las condiciones de los productos serán combinados analizados. Mediante el análisis de los datos se sabrá cómo hacer un producto más eficiente.

La nueva industria 4.0 tiene varios ejes entorno a los que se articula:

1. Big data y análisis de datos
2. Cloud Computing
3. Ciberseguridad
4. Robótica
5. Internet de las cosas
6. Simulación y prototipado
7. Realidad aumentada
8. Cultura
9. Integración de procesos



Fig. 1 Esquema industria 4.0

### 3.2 Arquitecturas de referencia

El uso integral de la digitalización y de Internet como sistema de comunicación está produciendo cambios que trascienden los límites de los dominios tradicionales, abriendo nuevas oportunidades en aplicaciones industriales y en toda la cadena de valor en el ciclo de vida del producto y sistema de producción. Para aprovecharlas, la transmisión de datos a través de Ethernet Industrial en combinación con la Internet de las cosas hace necesario el desarrollo de aplicaciones inteligentes. (Delgado, 2018)

Podemos distinguir 4 principales arquitecturas de referencia:

- RAMI: La arquitectura RAMI es un mapa tridimensional que enseña cómo abordar la cuestión de la industria 4.0 de manera estructurada. Esta arquitectura se asegura que todos los participantes involucrados en la industria 4.0 se entienden mutuamente. Combina todos los elementos y componentes IT en un modelo de capa y ciclo de vida. (Burgos Fernandez & Sarachaga Gonzalez, 2019)

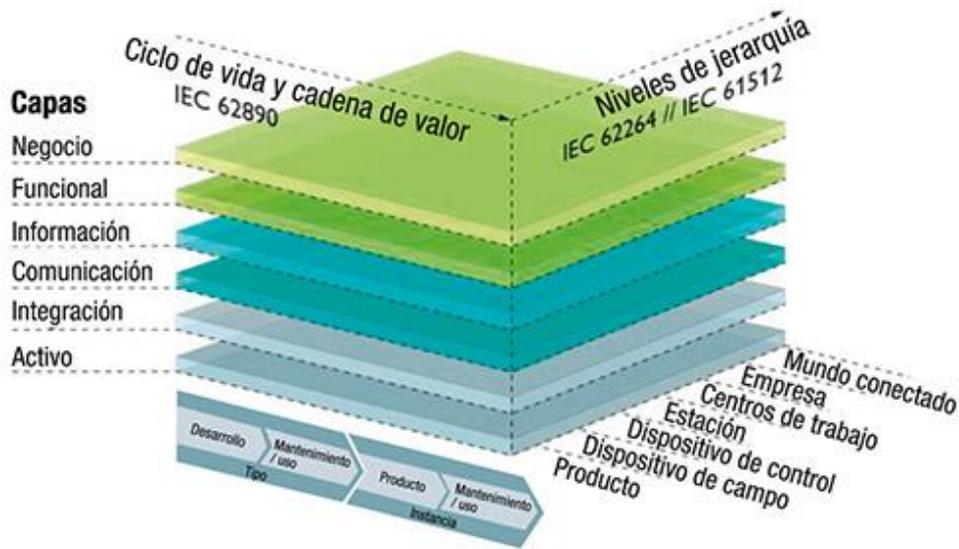
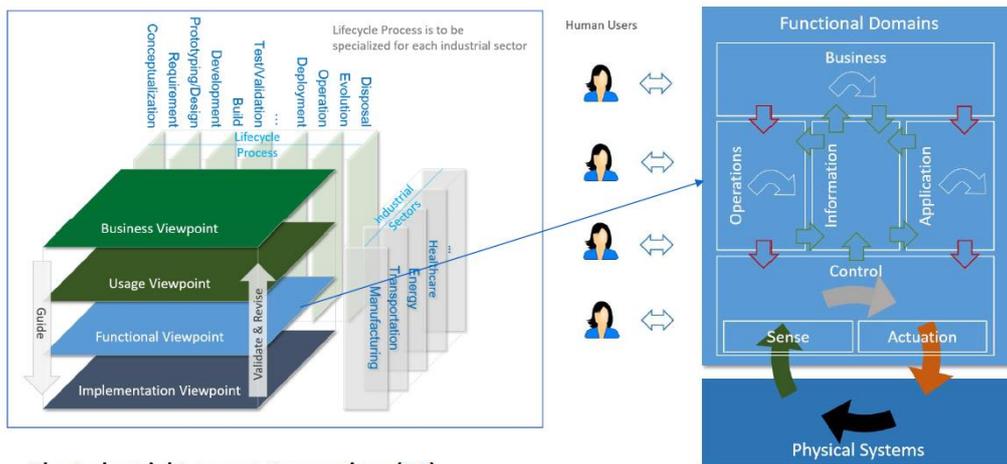


Fig. 2 Arquitectura RAMI

IIRA: Tiene su foco en varias perspectivas (negocio, uso, funcionalidad e implementación) y varios actores, por ejemplo, usuarios, operadores, dueños, proveedores, desarrolladores y técnicos. La figura siguiente muestra los cinco dominios funcionales definidos por IIRA: dominios de control, operación, información, aplicación y negocio, los cuales son comparadas contra características del sistema (seguridad, privacidad, resiliencia, escalabilidad, fiabilidad) y funciones transversales (ej. conectividad, gestión de datos distribuidos, analíticas industriales, control inteligente y resiliente).



The Industrial Internet Consortium (IIC)  
 Industrial Internet of Things (IIoT)

Fig. 3 Arquitectura IIRA (Burgos Fernandez & Sarachaga Gonzalez, 2019, pág. 19)

- NIST: Abarca una amplia gama de sistemas en el negocio de fabricación, incluyendo las funciones de producción, gestión diseño e ingeniería. El ciclo de vida del producto se refiere a los flujos de información y controles que comienzan en la etapa de diseño del producto temprano y continúan hasta el final de la vida útil del producto.

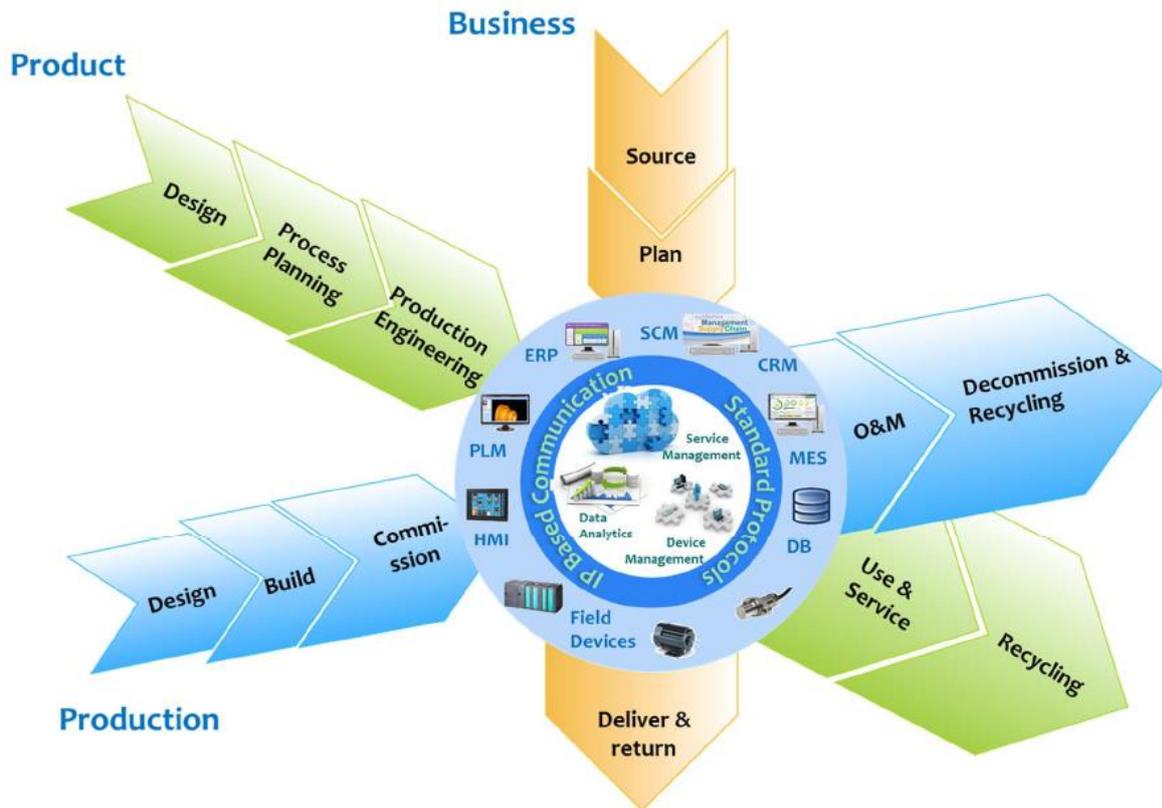


Fig. 4 Arquitectura NIST (Burgos Fernandez & Sarachaga Gonzalez, 2019, pág. 19)

- IMSA: Esta arquitectura incluye tres niveles: Ciclo de vida, nivel del sistema y "Smart functioning". Por ejemplo, el alcance del robot industrial dentro del modelo se presenta en el bloque de construcción formado por equipos de factor de recursos, y fabricación indicando que la tecnología de robots industriales afecta el proceso de producción dentro de las dimensiones del ciclo de vida del producto, pertenece al nivel de dispositivo y control dentro de la dimensión de nivel de sistema y se puede ver como un recurso para realizar la función smart. (Ciuciu & Meersman, 2018)

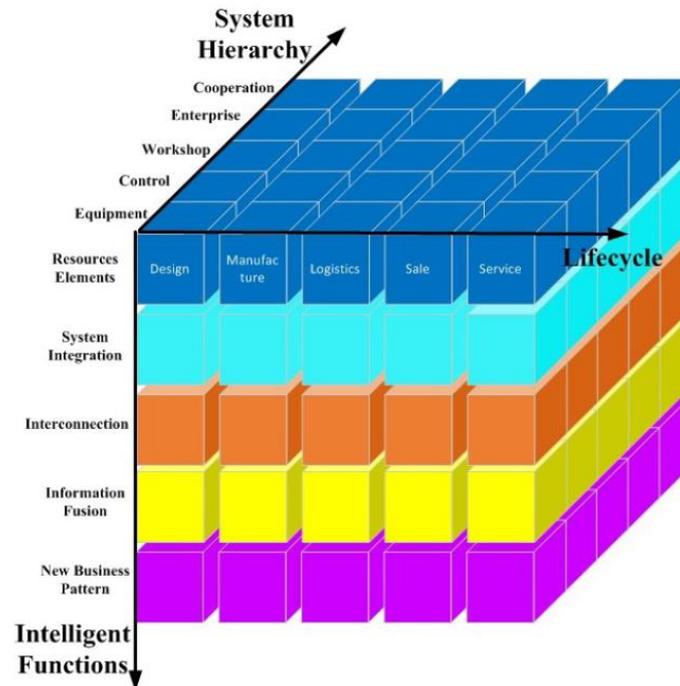


Fig. 5 Arquitectura IMSA (Burgos Fernandez & Sarachaga Gonzalez, 2019, pág. 22)

### 3.3 Estándares

Para el análisis y diseño de los programas hace falta seguir unos estándares para que todos se rijan por las mismas normas. En este caso analizaremos los estándares ANSI/ISA 95 88:

- ISA95: Aquí se define en detalle el modelo abstracto de la empresa, incluyendo las funciones de fabricación de control, funciones de negocios y su intercambio de información. Se debe resaltar que es un intercambio de información robusto, seguro y rentable. Debido a que el mecanismo de intercambio se debe preservar la integridad de la información y el alcance del control de cada sistema. (Natera & Maneses, 2015, pág. 5)
- ISA88: Proporciona normas, recomendaciones prácticas para el diseño y la especificación de los sistemas de control por lote, tal como se utiliza en las industrias de control de procesos. (Natera & Maneses, 2015, pág. 5)

Por otro lado, para la estandarización del proyecto uno de los estándares es el IEC1131-3.

IEC 1131 es el primer paso en la estandarización de los autómatas programables y sus periféricos, incluyendo los lenguajes de programación que se deben utilizar. Esta norma se divide en cinco partes: (IEC1131-3)

1. Vista general
2. Hardware
3. Lenguaje de programación
4. Guías de usuario
5. Comunicación

IEC 1131-3 pretende ser la base real para estandarizar los lenguajes de programación en la automatización industrial, haciendo el trabajo independiente de cualquier compañía.

### 3.4 CPS(Ciber Physical Systems)

Un sistema cyber-físico (en inglés, cyber-physical system, abreviadamente CPS) es un mecanismo (sistema físico) controlado o monitoreado por algoritmos basados en computación y estrechamente integrados con internet.

Es el término acuñado por la fundación americana NSF (National Science Foundation) que toma nombre del resultado de dotar a los componentes u objetos físicos que nos encontramos de forma habitual en nuestro entorno de trabajo, de capacidades de computación y de comunicación para convertirlos en objetos inteligentes. Estos permiten así, superar a los simples sistemas empotrados actuales en cuanto a capacidad, seguridad, escalabilidad, adaptabilidad, resiliencia y usabilidad, pudiendo trabajar en conjunto formando ecosistemas distribuidos y totalmente autónomos. (El Mundo, 2015)

### 3.5 Asset Administration Shell

En la industria 4.0 hay muchos tipos diferentes de materia y recursos que debe ser considerados: humanos, artículos técnicos, recursos naturales, entidades jurídicas, etc.

Un artículo técnico es un artefacto producido para cumplir con un papel en un sistema. El elemento técnico se caracteriza por un esquema de ciclo de vida común y un curso de valor común. (Epple, 2016)

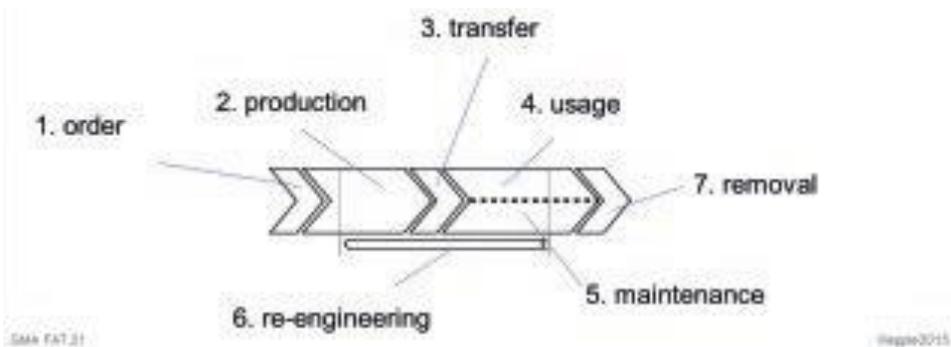


Fig. 6 Ciclo estándar de vida de “Technical asset” (Epple, 2016, pág. 5)

Cada “Technical asset” tiene que ser generado por una producción de proceso.

Aplicando al esquema de ciclo de vida los “Technical asset” muestran un curso de valor similar.

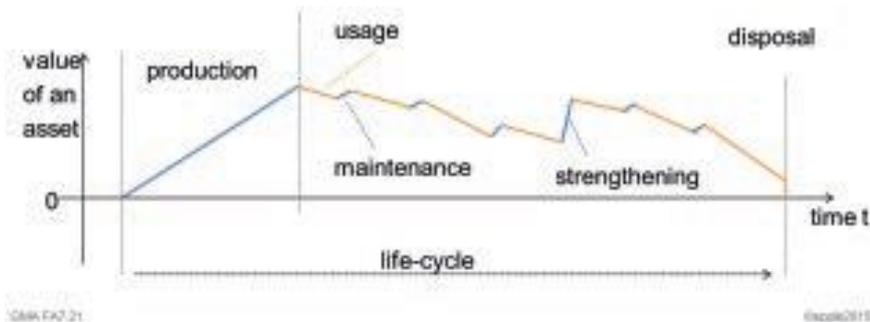


Fig. 7 El curso de valor típico de un “technical asset” (Epple, 2016, pág. 5)

En la industria 4.0 hay muchos tipos diferentes de “technical asset”. Es útil dividirlos en cinco categorías.

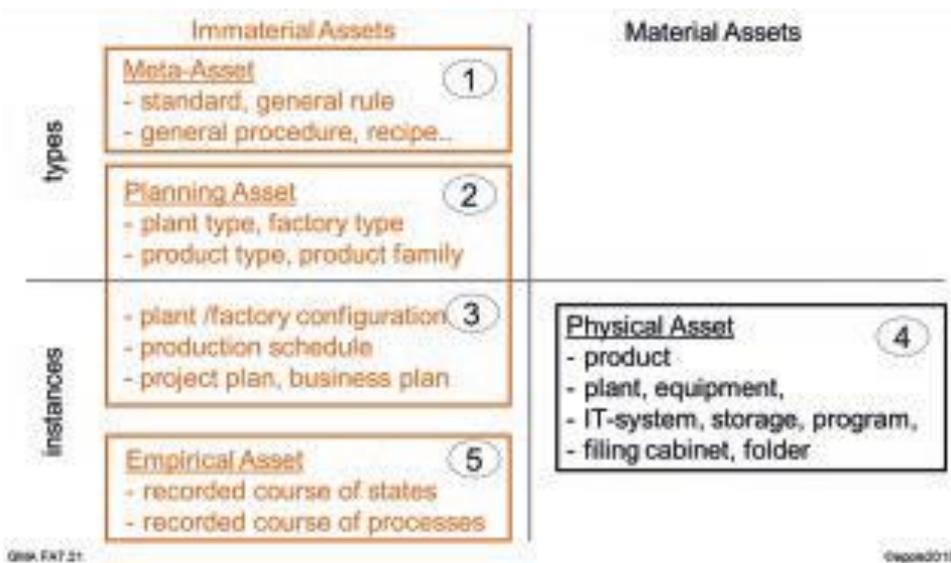


Fig. 8 Categorías de “technical asset” (Epple, 2016, pág. 5)

### 3.6 Sistemas Mecatrónicos

Un sistema mecatrónico es aquel que en todo momento está procesando información, registra, procesa, y actúa, puede aprender y mecanizar aparte de poseer un cierto grado de inteligencia, comandado a través de programas, es un sistema inteligente es un "ente" mecatrónico.

Las partes de un sistema mecatrónico son:

1. Estructura: Es el "cuerpo" de nuestro sistema, en el irán todos los demás elementos que lo integran.
2. Sensores: Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en variables eléctricas.
3. Actuadores: Los actuadores son, como su nombre lo dice, los que realizan una acción, existen muchos tipos de actuadores, por ejemplo, los motores.
4. Controladores: Los controladores son los que regulan todas las funciones asociadas de temporización, cadencia y conteo lógico.
5. Interfaces: es el medio por el cual se conectan dos sistemas o dispositivo.

La mecatrónica es una disciplina que integra capacidades de la ingeniería mecánica, electrónica, control y automática, e informática, con el fin de diseñar, desarrollar, poner en marcha y optimizar sistemas que operen en condiciones de alta dinámica y elevada precisión, robustos y multiaccionamiento.

Por otro lado la ingeniería mecatrónica es una disciplina que sirve para diseñar robots y a los productos que involucren a sistema de control para el diseño de productos o procesos inteligentes, lo cual busca crear maquinaria más compleja para facilitar las actividades del ser humano a través de procesos electrónicos en la industria mecánica, principalmente. Esta disciplina une la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería de control e ingeniería informática. Debido a que combina varias ingenierías en una sola, su punto fuerte es la versatilidad.

### 3.7 Metodología MeIA● 4.0

MeIA● (Methodology for industrial Automation systems) es una metodología para el desarrollo de software de control en el ámbito de la ingeniería de automatización de procesos. Dicho software abarca tanto los sistemas que realizan el control directo del proceso, como el control general (o controlador de célula) que aborda el control de la producción comandando los sistemas de control directos, las funciones de diálogo con el personal y el tratamiento de la información del proceso. (Burgos, Álvarez, Sarachaga, & Sainz de Murieta, 2018)

## MeiA 4.0

## 4.0

### Métodos y Estándares en la Automatización Industrial

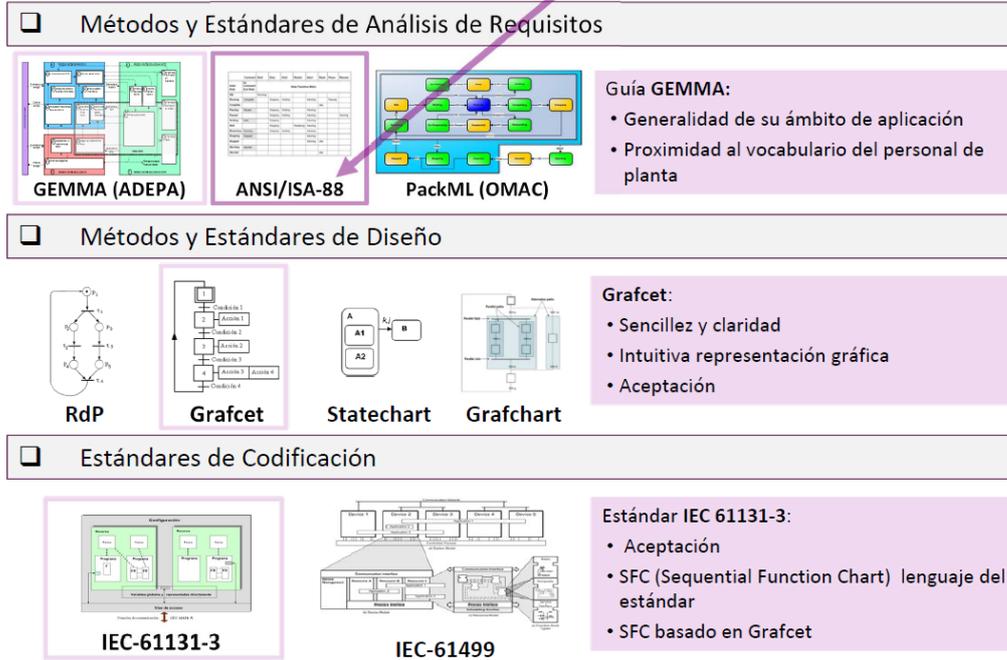


Fig. 9 Estándares metodología MeiA.

En la metodología MeiA se utiliza el estándar de automatización ANSI/ISA-88 el cual proporciona normas, recomendaciones prácticas para el diseño y la especificación de los sistemas de control por lote, tal como se utiliza en las industrias de control de procesos. (Burgos, Álvarez, Sarachaga, & Sainz de Murieta, 2018)

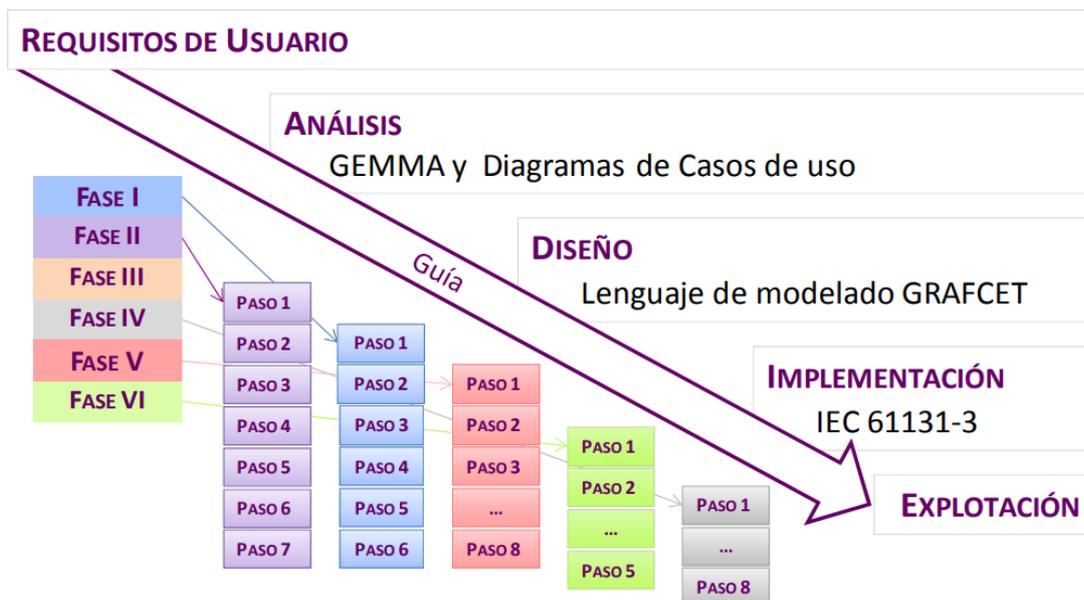


Fig. 10 Esquema metodología MeiA.

El proyecto de desarrollo del sistema de control de un proceso con un nivel de complejidad media-alta comienza capturando la información sobre el funcionamiento del proceso productivo y las operaciones de producción. Con dicha información se identifican los subsistemas y la relación entre los mismos.

Estos procesos de implementación comienzan identificando los modos de operación que determinan las perspectivas a analizar en las distintas fases de **MeiA**•:

- Secuencia Principal - Modo Automático
- Modo Manual
- Modo de Pruebas
- Fallos
- Paro de emergencia
- Producción Normal

Fase I: Secuencia principal- Modo automático

Organización del arranque y parada del Modo Automático

En esta fase se establece la secuencia principal del sistema, que organiza tanto el arranque del sistema en modo automático como la parada programada del mismo, generando las señales de mando que informan a producción normal sobre el estado del sistema en cada momento.

- PASO 1 – Solicitud de funcionamiento modo
- PASO 2 –Inicialización parte operativa- Condiciones iniciales y de seguridad
- PASO 3 –Marcha de preparación
- PASO 4 – Solicitud de paro a fin de
- PASO 5 – Fin de proceso
- PASO 6 – Marcha de finalización

Fase II: Modo Manual

En esta fase se organiza tanto el arranque como la parada del sistema para funcionar manualmente.

Para establecer el funcionamiento en modo manual del sistema se deben realizar los siguientes pasos:

- PASO 1 – Solicitud de funcionamiento modo
- PASO 2 – Manual prioritario- Parada inmediata

- PASO 2.1 – Parada segura
- PASO 2.2 – Desactivación del proceso automático
- PASO 3 – Procedimiento manual- controles
- PASO 4 –Solicitud parada del funcionamiento modo manual
- PASO 5 – Inicialización parte operativa- salida de manual
- PASO 6 – Preparación de arranque – Salida de manual
- PASO 7 – Activación del modo automático

### Fase III: Modo de Pruebas

#### Organización del arranque y parada de los modos de Pruebas

En esta fase se analiza la necesidad de verificar paso a paso o de forma continua ciertos movimientos o partes del proceso, respetando el orden habitual del ciclo según el ritmo que marque el personal a cargo de dicha tarea.

- PASO 1 – Solicitud de funcionamiento de bloque
- PASO 2 – Inicialización parte operativa- Bloque
- PASO 3 – Marcha de preparación – Bloque
- PASO 4 – Control marcha bloque
- PASO 5 – Solicitud parada del funcionamiento bloque
- PASO 6 – Fin de bloque
- PASO 7 – Marcha de finalización- Bloque

### Fase IV: Fallos

#### Gestión de fallos del proceso

En esta fase se identifican, analizan y evalúan los fallos que pueden producirse en el proceso, identificando dos tipos: aquéllos que permiten que el sistema siga en producción (incluso aceptando degradación de la calidad del producto) y aquéllos que forzosamente harán evolucionar el sistema hacia una parada controlada.

- PASO 1 – Detección de fallo
- PASO 2 – Aviso de fallo
- PASO 3 – Diagnóstico de fallo
- PASO 4 – Tratamiento fallo solucionable
- PASO 5 – Tratamiento fallo no solucionable- Paro fin ciclo
- PASO 6 – Tratamiento fallo no solucionable- Emergencia
- PASO 7 – Seguir en producción con fallo

- PASO 7.1 – Aceptar producción con fallo
- PASO 7.2 – Marcha de preparación producción con fallo
- PASO 7.3 – Marcha sistema auxiliar por fallo
- PASO 7.4 – Solicitud parada de producción con fallo
- PASO 8 – Preparación de arranque- Salida de fallo

## Fase V: Paro de emergencia

### Organización del funcionamiento del Paro de Emergencia

En esta fase se organiza tanto el arranque como la parada del sistema para el tratamiento de emergencias. En la mayoría de los procesos, las emergencias se tratan como un módulo autónomo del controlador tanto a nivel de hardware como de software.

- PASO 1 – Solicitud de emergencia
- PASO 2 – Emergencia- Parada inmediata
  - PASO 2.1 – Parada segura emergencia
  - PASO 2.2 – Desactivación del modo automático
- PASO 3 – Aviso de emergencia
- PASO 4 – Procedimiento de emergencia- Protocolo de actuación
- PASO 5 – Solicitud parada de emergencia
- PASO 6 – Inicialización parte operativa- Salida de emergencia
- PASO 7 – Preparación de arranque- salida de emergencia
- PASO 8 – Activación del modo automático

## Fase VI: Producción normal

Operaciones del proceso y definición del ciclo normal de producción.

En esta fase se analizan las operaciones del proceso, se establece el orden de realización definiendo el ciclo normal de producción, y se identifican, analizan y diseñan los procedimientos que realizarán dichas operaciones.

- PASO 0 – Operaciones del proceso- Procedimientos
- PASO 1 – Marcha del procedimiento
- PASO 2 – Descripción del procedimiento
  - PASO 2.1 – Identificación de señales
  - PASO 2.2 – Tareas
- PASO 3 – Paro en estado intermedio
- PASO 4 – Parada del procedimiento

## 4 Descripción completa de la planta

Este trabajo está desarrollado en una de las plantas de producción de Coca-Cola, más exactamente en la planta de Norbega que está situada en Basauri, cerca de Bilbao.

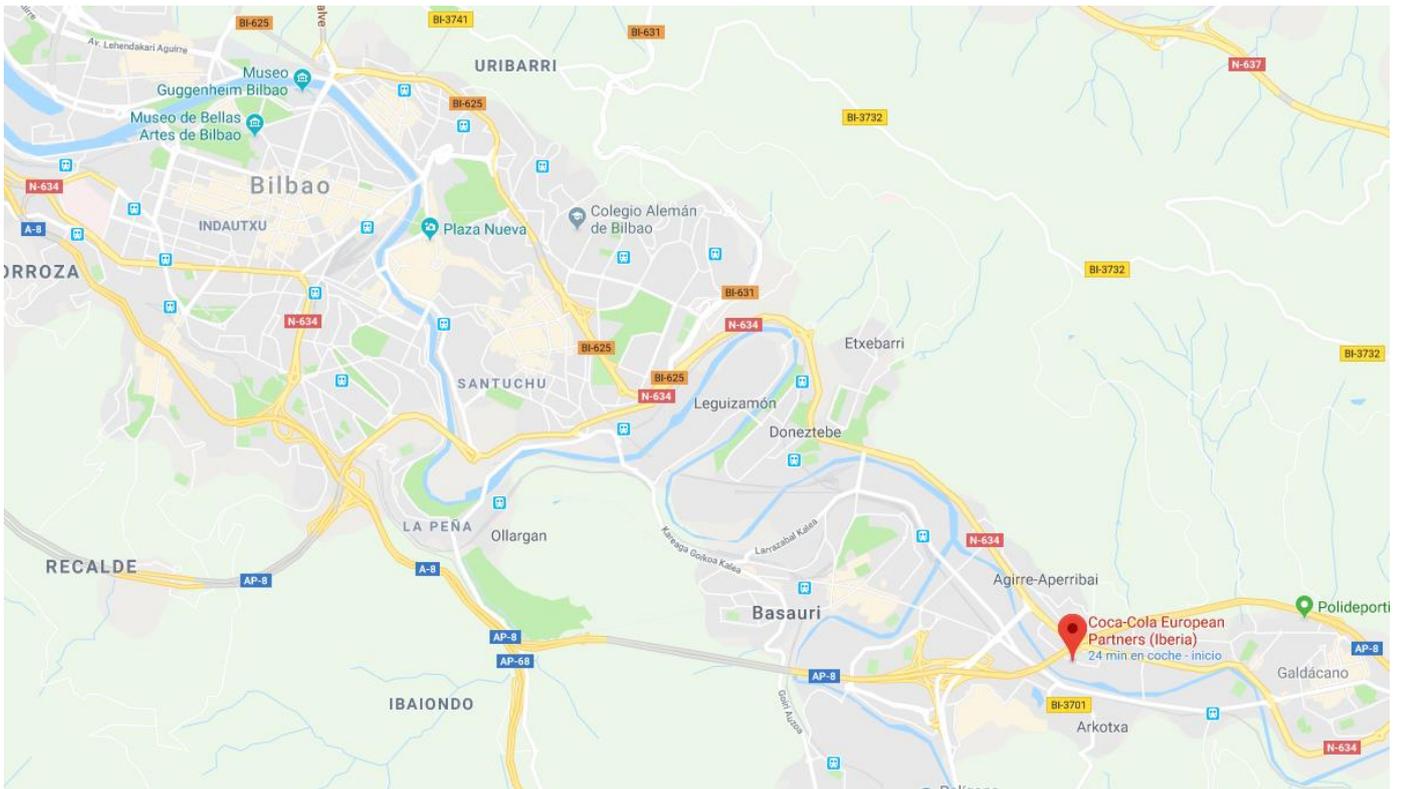


Fig. 11 Localización planta Coca Cola

En ella se produce y se envasa varios tipos de botellas para su posterior venta: Latas, botellas de plástico, botellas de vidrio reutilizadas y botellas de vidrio sin reutilizar.

En este caso he trabajado sobre la planta de embotellamiento de botellas de vidrio reutilizadas, en la cual las botellas que vienen de los bares y otros comercios son lavadas y reutilizadas para su posterior uso.

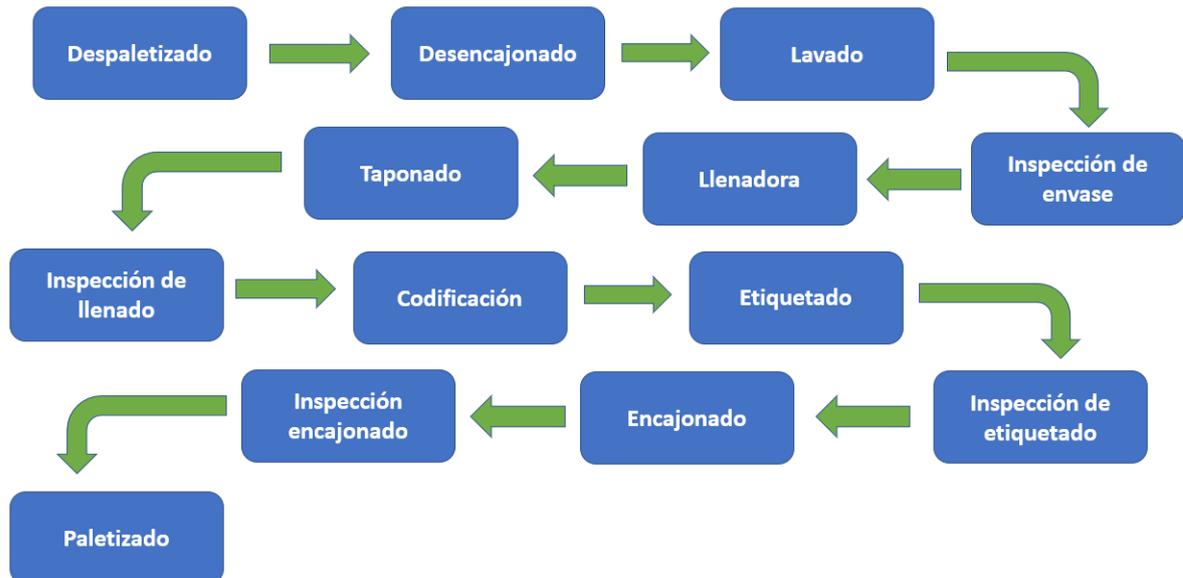


Fig. 12 Diagrama planta completa

En primer lugar, llegan los palets cargados con cajas de botellas ya usadas en los bares. Estos palets son depositados en una cinta transportadora para comenzar el proceso y poder ser posteriormente reutilizadas.

1. En la primera unidad de trabajo mediante tres cintas, una de ellas giratorias, se prepara el palet para que un robot pueda quitar las cajas del palet y poderlas alinear en una cinta transportadora.



Fig. 13 Robot despaletizador



Fig. 14 Salida cajas alineadas

2. En la segunda unidad un robot giratorio se encarga de separar las botellas vacías por un lado y las cajas por otro lado. Cada una es depositada en una cinta transportadora diferente.



Fig. 15 Entrada cajas alineadas



Fig. 16 Succionador botellas

3. La tercera unidad de trabajo se encarga de lavar las botellas y las cajas para posteriormente poder usarlas. Antes de entrar a la lavadora el personal de planta se encarga de quitar cualquier residuo que no pueda entrar a la lavadora (tapones, pajitas, papel).

Las botellas son lavadas en una lavadora cilíndrica durante aproximadamente 18 minutos.



Fig. 17 Cinta entrada lavadora de botellas

Una vez que las botellas han pasado por el lavado son separadas en dos cintas para poder realizar todo el proceso el doble de rápido.

4. En la cuarta unidad de trabajo mediante una cámara las botellas son sometidas a una inspección la cual verifica que la botella está limpia si la botella no está correctamente lavada será devuelta por una cinta otra vez a la unidad de lavado.

Una vez que han pasado la inspección de lavado son inspeccionadas para ver si está correctamente el envase. En este proceso de inspección hay 4 opciones posibles.

- La botella está completamente bien y continua el proceso.
- La botella tiene algún tipo de defecto y no se puede usar para el embotellado.
- La botella esta correcta, pero es de otro tipo de producto (por ejemplo, Fanta). Estas son apartadas y almacenadas para su posterior uso.
- La botella es ajena a sus productos y es directamente desechada.



Fig. 18 Cinta de verificación

5. Las botellas que han pasado todas las inspecciones van a la maquina llenadora y taponadora. Al entrar en la maquina las botellas pasan por un rodillo sinfín el cual separa las botellas a la distancia adecuada para que estas entren a la máquina. Una vez dentro mediante dos máquinas unidas entre si las botellas son llenadas y taponadas.



Fig. 19 Maquina de llenado de botellas

6. Cuando salen las botellas son llevadas a la unidad de inspección en la cual las que no tienen un nivel de llenado correcto son apartadas de la línea.
7. Después las botellas que tienen el nivel de Coca-Cola correcto son enviadas a la unidad de codificación en la cual se le coloca el código y fecha, pero antes son sometidas a un secado ya que es necesario que no estén húmedas para colocar las etiquetas.

Al igual que en la de llenado las botellas son separadas mediante un rodillo sinfín. Una vez que las botellas están situadas en las posiciones de la maquina un servo las hace girar hasta la posición adecuada para la colocación de la etiqueta.

8. Cuando salen de la etiquetadora pasan por la unidad de inspección de etiquetas en la cual si la etiqueta está colocada correctamente continuara a la siguiente unidad. De no ser así serán apartadas.
9. Las botellas que han pasado la inspección son colocadas en cajas mediante un robot giratorio (el mismo que en la unidad dos solo que el proceso inverso).
10. Una vez encajonadas son sometidas a inspección y finalmente son colocadas en palets por una maquina idéntica a la primera del proceso con el proceso inverso.



Fig. 20 Salida de botellas

## 5 Descripción del proyecto

En este proyecto una vez analizadas todas las unidades de trabajo que hay en la planta embotelladora se escogerán para trabajar tres de ellas: Despaletizado, desencajonado y lavado (las tres primeras e la línea).

El objetivo final del proyecto es entender perfectamente cómo funcionan todos los mecanismos de dichas unidades de trabajo para posteriormente poder implementarlos en un programa mediante unos PLCs de siemens (ST-1500).

Primeramente, desarrollaremos los graficet de todos los programas con la herramienta SFCEdit para posteriormente poder implementarlos en el software de siemens (TIA Portal).



Fig. 21 Esquema general de la programación

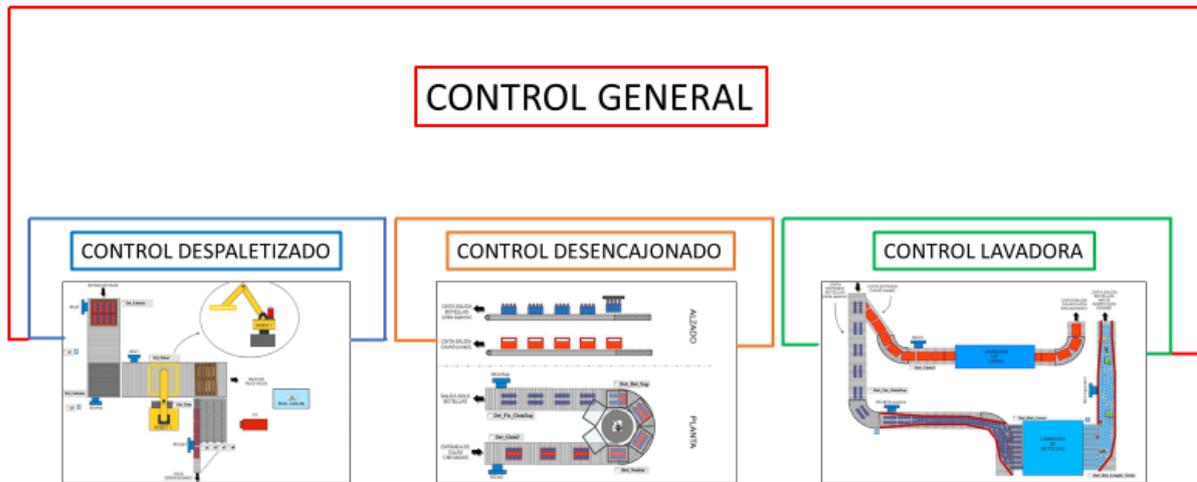


Fig. 22 Esquema general del proyecto

Una vez que esta todo programado se ha planteado un método de ejecución en el que cabe la posibilidad de controlar cada una de las unidades de trabajo de manera individual, o por el contrario, controlar las tres a la vez mediante un control general.

Todo esto será controlado mediante unas pantallas HMI desarrolladas en el programa de TIA Portal.

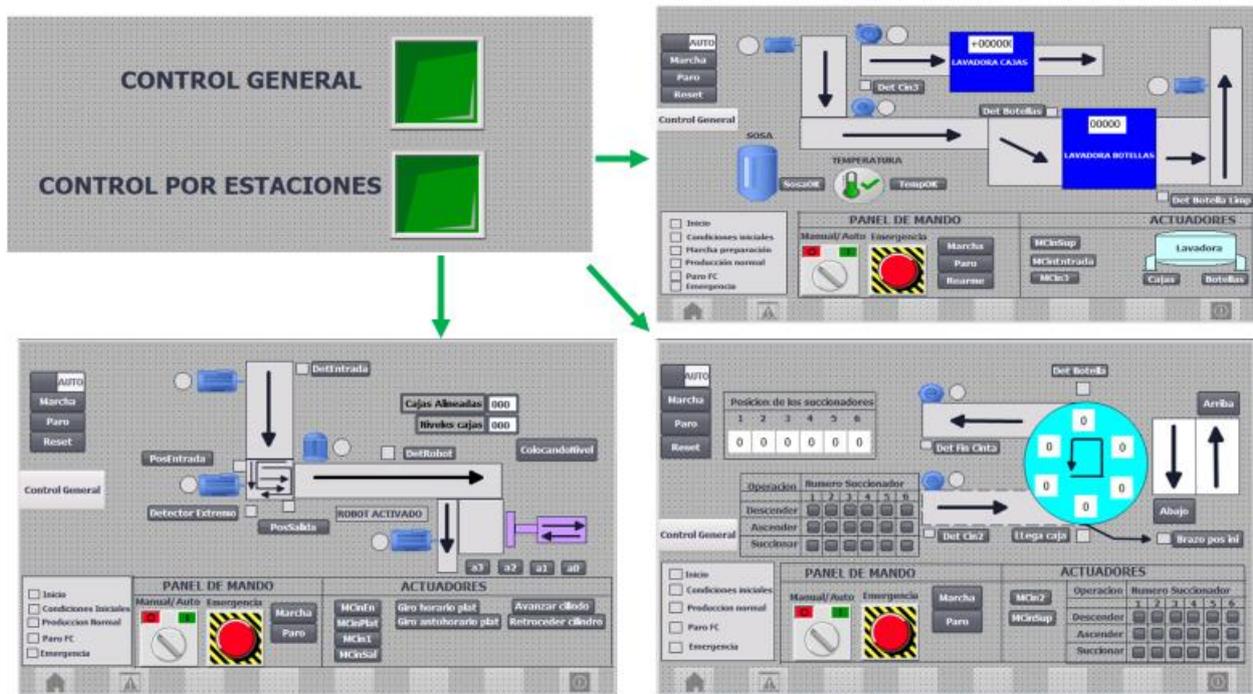


Fig. 23 Pantallas HMI

## 6 Especificación de requisitos despaletizado

La función de la unidad es despaletizar las cajas que llegan a la estación en palets donde se sitúan 45 cajas colocadas 5 niveles y en cada uno de ellos 8 cajas, las cajas salen de la estación en alineadas en una fila.



Fig. 24 Robot despaletizador



Fig. 25 Cajas alineadas

### 6.1 Operaciones

En esta unidad se realizan tres operaciones:

- **Entrada de palets:** El operario depositara los palets cargados sobre la cinta de entrada mediante una carretilla elevadora y estos serán transportados y colocados correctamente para entrar a la cinta de despaletizado.
- **Despaletizado de las cajas:** Un robot situado en la cinta de despaletizado retirara los 5 niveles de cajas que hay sobre el palet de uno en uno. De esta forma necesitara repetir el proceso 5 veces hasta retirar las 45 cajas.
- **Alineación de las cajas:** Mediante un cilindro situado en un lateral de la cinta las cajas se alinearán en una cinta para ir al próximo proceso. Al haber 8 cajas en cada nivel agrupadas de 2 en dos el proceso se repetirá 4 veces por cada nivel.

## 6.2 Sistema físico

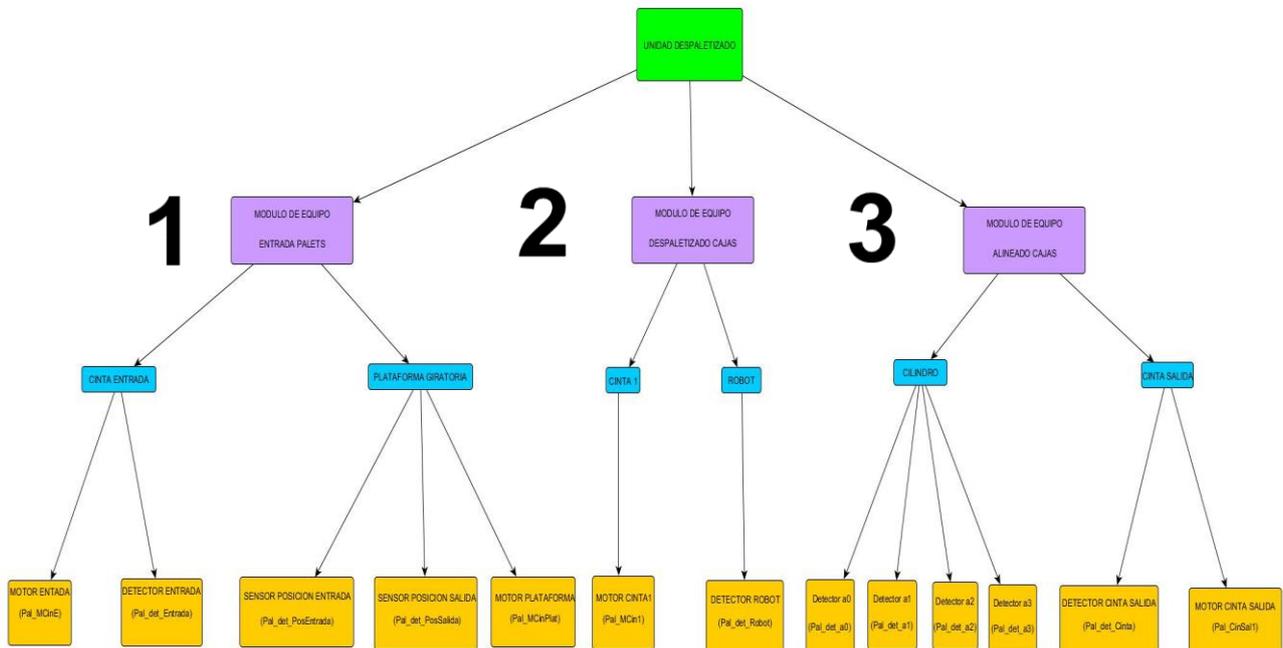


Fig. 26 Árbol despaletizado

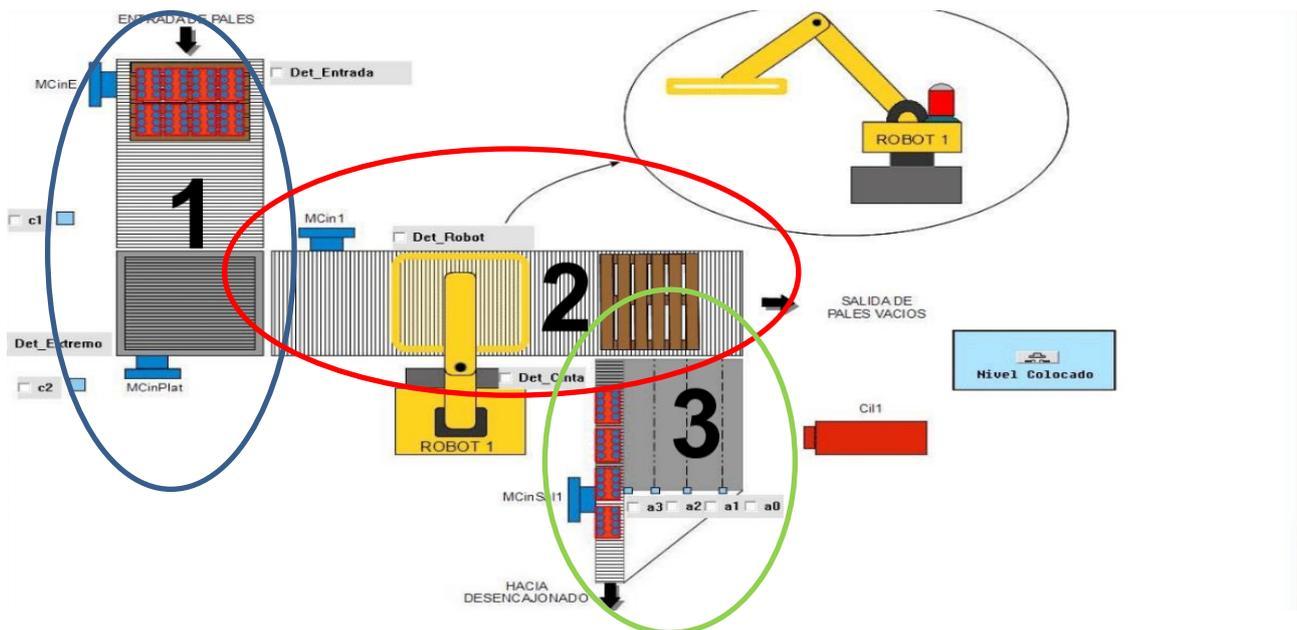


Fig. 27 Modulo despaletizado (Lopez Recio & Mérida Padial, 2013)

1. En el primer módulo (Modulo de entrada) el personal de la planta mediante la carretilla elevadora coloca el palet en la cinta de entrada y el sensor que hay a la entrada se activara (**Pal\_det\_Entrada**). Una vez activada esta señal la cinta se pondrá en funcionamiento (**Pal\_MC1E**) hasta que se active el detector que hay en el extremo de la cinta giratoria (**Pal\_det\_Extremo**). De esta forma sabremos que el

palet está situado correctamente para girarlo y prepararlo para el proceso de despaletizado.

La cinta de entrada se activará en el mismo momento en el que se detecte el palet. El operario en el momento que la cinta arranque no tendrá más que retirarse con la carretilla elevadora. Esto no influirá en el comportamiento del proceso.

La cinta de la plataforma giratoria se pondrá en funcionamiento pasados 5 segundos desde la activación del detector de la cinta de entrada (**Pal\_det\_Entrada**).

Una vez que las cajas han llegado al final de la plataforma giratoria, el sensor (**Pal\_det\_Extremo**) detecta su posición y la plataforma sabrá que el palet ha llegado correctamente al final de la cinta y girara en sentido antihorario (**Pal\_Girar\_AntiHor**) hasta que se active el sensor **Pal\_det\_PosSalida** que indicara que la plataforma girado correctamente hasta la posición correcta para avanzar a la siguiente cinta. De esta forma el palet estará alineado para que el robot pueda retirar las cajas correctamente en el próximo proceso.

2. En el segundo módulo (módulo de despaletizado) el palet no saldrá de la plataforma giratoria hacia la cinta del robot hasta que el sensor del robot (**Pal\_det\_Robot**) este desactivado. Una vez este desactivado se pondrá en marcha la cinta 1 (**Pal\_MCin1**) a la vez que la cinta de la plataforma (**Pal\_MCinPlat**). Este proceso estará activo durante 2 segundos, el suficiente para que todo el palet sala de la plataforma giratoria.

Una vez transcurrido los 2 segundos la cinta de plataforma giratoria se detendrá (**Pal\_MCinPlat**) y la cinta 1 (**Pal\_MCin1**) continuará en movimiento hasta que se active nuevamente el detector del robot (**Pal\_det\_Robot**).

Una vez se activa el detector del robot (**Pal\_det\_Robot**) la cinta se detendrá para que el robot comience a desmontar los 5 niveles de cajas. Se activará la señal **Pal\_ColocarNivel** para saber que el proceso de despaletización ha comenzado y se utilizara la señal **Pal\_NivelColocado** para indicar que un nivel del palet se encuentra situado sobre la cinta de salida 1. Este proceso se repetirá hasta que se hayan desmontado los 5 niveles de cajas que hay sobre el palet.

3. En el tercer módulo (módulo de alineado de cajas) cuando el robot deja un nivel sobre la cinta de salida y se activa el detector (**Pal\_det\_Cinta**) esta se pondrá en marcha (**Pal\_MCinSal1**) durante 2 segundos, el suficiente para que las dos primeras cajas que se sitúan sobre la cinta avancen y dejen hueco para alinear las próximas dos cajas. Entonces el cilindro que se encarga de alinear las cajas empujándolos desde un lateral avanzara (**Pal\_Cil1+**) hasta la posición **Pal\_det\_a1**. Esta operación se repetirá 3 veces hasta que no queden cajas en la cinta.

El robot no podrá dejar un nuevo nivel hasta que el anterior no haya sido completamente retirado (**Pal\_det\_Cinta**) desactivado.

Cuando estén todos los niveles en la cinta de salida se pondrá en marcha la cinta 1 (**Pal\_MCin1**) durante dos segundos para que el palet vacío caiga a un contenedor donde se almacenara para su posterior uso.

4. **Condiciones Iniciales:** Para las condiciones iniciales el sistema deberá estar vacío. Por ello en la pantalla aparecerá un mensaje (**Mens0**) que pondrá: “Retirar todas las cajas de la cinta y pulsar el botón Reset”. De esto se encargará el personal de planta. Una vez que se asegure que no hay piezas se deberá dar al pulsador de Reset de HMI.

Por otro lado el cilindro que se encarga de alinear las cajas en el módulo 3 (**Pal\_Cil1**) deberá estar en la posición de recogido en el que el sensor indicara **Pal\_det\_a0**, en el caso de que no este se activara la señal de que el cilindro aliñador de cajas está completamente recogido el cilindro retrocederá (**Pal\_Cil1-**) hasta que se encuentre en la posición inicial de recogido (**Pal\_det\_a0**).

Por otro lado, la plataforma giratoria que se encarga de que los palets con las cajas este perfectamente alineado para que el robot pueda retirar las cajas correctamente deberá está en la posición correcta indicada por el sensor (**Pal\_PosEntrada**), en el caso que no lo esté en esa posición la plataforma tendrá que girar en sentido horario (**Pal\_Girar\_Hor**) hasta llegar a esa posición.

## 6.3 Modos de funcionamiento

### 6.3.1 Automático

Si activamos el sistema con el selector en la posición automático el sistema despaletizará todo de forma automática sin necesidad de la intervención del operario.

### 6.3.2 Manual

El sistema estará completamente gobernado por el operario, de esta forma el operario tendrá total control sobre todo el sistema para hacer los ajustes y movimiento necesarios en la unidad.

### 6.3.3 Parada de emergencia

El sistema entrara en parada de emergencia cuando algún operario pulse la seta de emergencia. En ese mismo instante se detendrán todos los procesos que estén en marcha. Con este funcionamiento se quieren evitar accidentes.

## 6.4 Condiciones de arranque

Cilindro alineador:

- Debe de estar completamente recogido.

Plataforma giratoria:

- Tiene que estar colocada en la posición inicial.

Cintas transportadoras:

- Deben de estar todas vacías sin ninguna caja.

## 6.5 Sistema de supervisión

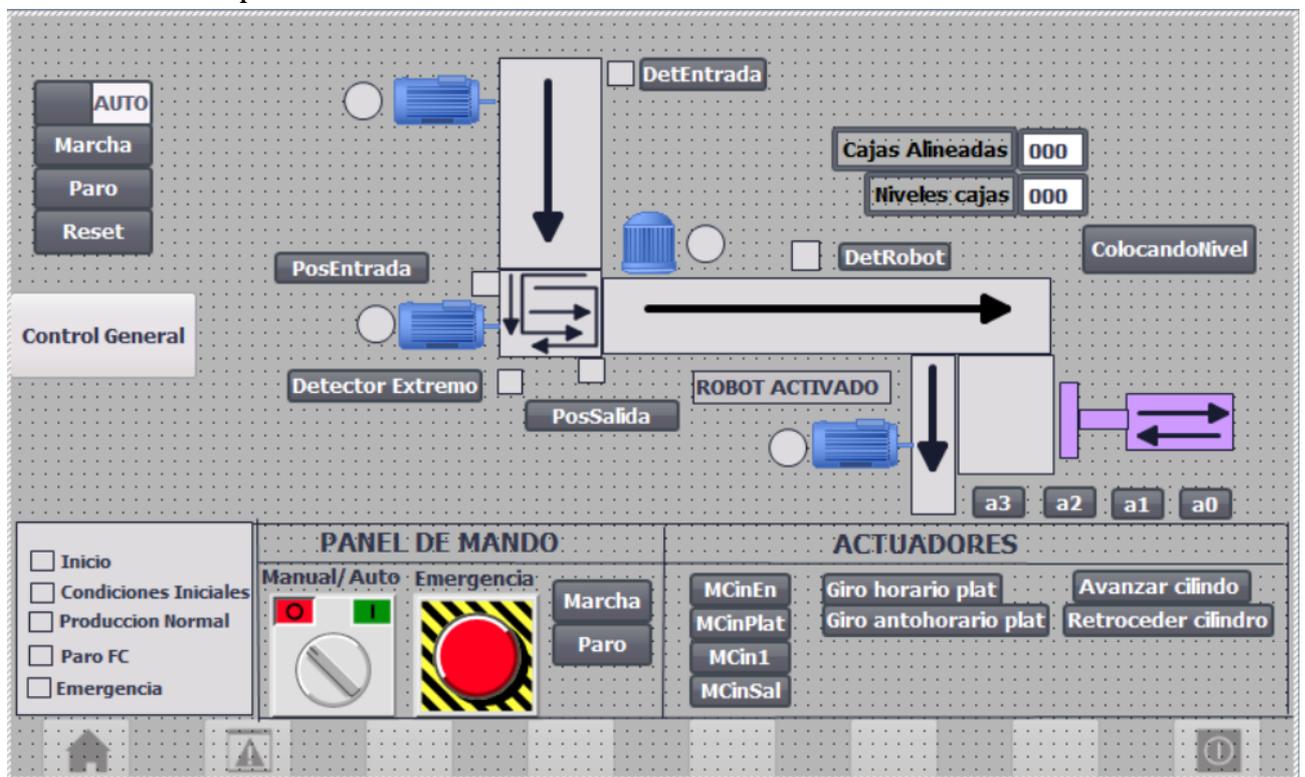


Fig. 28 HMI despaletizado

El sistema de supervisión procesará la siguiente información referente a la estación:

- Número de cajas alineadas
- Número de niveles de cajas retiradas
- En qué etapa del proceso se encuentra (inicio, condiciones iniciales, producción normal, paro, emergencia)

Información relacionada con la trazabilidad del proceso:

- Posición en la que se encuentra el cilindro
- Posición en la que se encuentra la plataforma giratoria

Controles sobre la estación:

- Pulsador de marcha
- Pulsador de parada
- Conmutador de modo automático/manual
- Pulsador de reset
- Pulsador para volver al control general
- Pulsador de emergencia
- Pulsadores para cada acción que se puede realizar en la estación.

## 6.6 Señales

Las señales están agrupadas en tres grupos: Señales de entrada, señales de salida y señales de control.

### 6.6.1 Entradas

Variables PLC									
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario
🔌	Pal_det_entrada	Bool	%M110.0	False	True	True	True		Detector de la cinta de entrada
🔌	Pal_det_extremo	Bool	%M110.1	False	True	True	True		Detector del extremo de la cinta rotatoria
🔌	Pal_det_PosSalida	Bool	%M110.2	False	True	True	True		Detector de salida en la cinta rotatoria
🔌	Pal_det_Robot	Bool	%M110.3	False	True	True	True		Detector para saber si hay cajas en el robot
🔌	Pal_det_Cinta	Bool	%M110.4	False	True	True	True		Detector de la cinta de salida
🔌	Pal_det_a0	Bool	%M110.5	False	True	True	True		Detector de posición del cilindro
🔌	Pal_det_a1	Bool	%M110.6	False	True	True	True		Detector de posición del cilindro
🔌	Pal_det_a2	Bool	%M110.7	False	True	True	True		Detector de posición del cilindro
🔌	Pal_det_a3	Bool	%M111.0	False	True	True	True		Detector de posición del cilindro
🔌	Pal_Marcha	Bool	%M111.1	False	True	True	True		Pulsador de marcha
🔌	Pal_Paro	Bool	%M111.2	False	True	True	True		Pulsador de paro
🔌	Pal_AutoMan	Bool	%M111.3	False	True	True	True		Selector auto/manual
🔌	Pal_Emerg	Bool	%M111.4	False	True	True	True		Pulsador de emergencia
🔌	Pal_Reset	Bool	%M111.5	False	True	True	True		Pulsador de reset
🔌	Pal_det_PosEntrada	Bool	%M111.6	False	True	True	True		Detector de entrada en la cinta rotatoria

Tabla 1 Variables de entrada despaletizado

## 6.6.2 Salidas

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Pa_MCinE	Bool	%M120.0	False	True	True	True		Motor de la cinta de entrada	
Pa_Girar_AntiHor	Bool	%M120.1	False	True	True	True		Señal de giro antiorario de la cinta	
Pa_MCinPlat	Bool	%M120.2	False	True	True	True		Motor de la plataforma	
Pa_MCin1	Bool	%M120.3	False	True	True	True		Motor de la cinta 1	
Pa_MCinSal	Bool	%M120.4	False	True	True	True		Motor de la cinta de salida	
Pa_Cil+	Bool	%M120.5	False	True	True	True		Señal de xtender cilindro	
Pa_Cil-	Bool	%M120.6	False	True	True	True		Señal de recoger cilindro	
Pa_Girar_Hor	Bool	%M120.7	False	True	True	True		Señal de giro horario de la plataforma	
Pa_Cont1	Int	%MW122	False	True	True	True		Contador 1	
Pa_Cont2	Int	%MW124	False	True	True	True		Contador 2	

Tabla 2 Variables de salida despaletizado

## 6.6.3 Señales de control

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Pa_ColocarNivel	Bool	%M100.0	False	True	True	True		Señal auxiliar de colocar nivel de cajas	
Pa_NivelColocado	Bool	%M100.1	False	True	True	True		Señal auxiliar de nivel de cajas colocadas	
Pa_Mens0	Bool	%M100.2	False	True	True	True		Mensaje de inicio	
Pa_PaletPreparadoDespaletizar	Bool	%M100.3	False	True	True	True		Señal de inicio del grafct despaletizar	
Pa_InicioCintaRobot	Bool	%M100.4	False	True	True	True		señal de inicio de la cinta del robot	
Pa_PaletVacio	Bool	%M100.5	False	True	True	True		Señal de palet correctamente vaciado	
Pa_SolCondIni(1)	Bool	%M100.6	False	True	True	True		Señal de inicio solicitud de condiciones iniciales	
Pa_FinCondIni	Bool	%M100.7	False	True	True	True		Señal de fin de solicitud condiciones iniciales	
Pa_ParoFC	Bool	%M101.0	False	True	True	True		Señal de Paro fin de ciclo	
Pa_Inicio	Bool	%M101.1	False	True	True	True		Señal de inicio del programa	
Pa_ProdNorm	Bool	%M101.2	False	True	True	True		Señal de inicio produccion normal	
Pa_ActivarRobot	Bool	%M101.3	False	True	True	True		Señal de activacion del robot	
Pa_Salida_TM1	Bool	%M101.4	False	True	True	True		Salida del timer 1	
Pa_Salida_TM2	Bool	%M101.5	False	True	True	True		Salida del timer 2	
Pa_Salida_TM4	Bool	%M101.6	False	True	True	True		Salida del timer 4	
Pa_Salida_TM3	Bool	%M101.7	False	True	True	True		Salida del timer 3	
Pa_flecha abajo	Bool	%M102.0	False	True	True	True		Variable auxiliar para el HMI	
Pa_flecha_derecha	Bool	%M102.1	False	True	True	True		Variable auxiliar para el HMI	
Pa_NivelVaciado	Bool	%M102.2	False	True	True	True		Señal de nivel vaciado correctamente	
Pa_Salida_TM5	Bool	%M102.3	False	True	True	True		Salida del timer 5	
Pa_ColocandoNivel	Bool	%M102.4	False	True	True	True		Señal de nivel colocado correctamente	
Pa_Apagar_Robot	Bool	%M102.5	False	True	True	True		Señal para apagar el robot	
Pa_InicioManual	Bool	%M102.6	False	True	True	True		Señal de inicio del modo manual	
Pa_FinProceso	Bool	%M102.7	False	True	True	True		Señal de fin de proceso	

Tabla 3 Variables de memoria despaletizado

## 6.7 Análisis y diseño

### 6.7.1 GEMMA

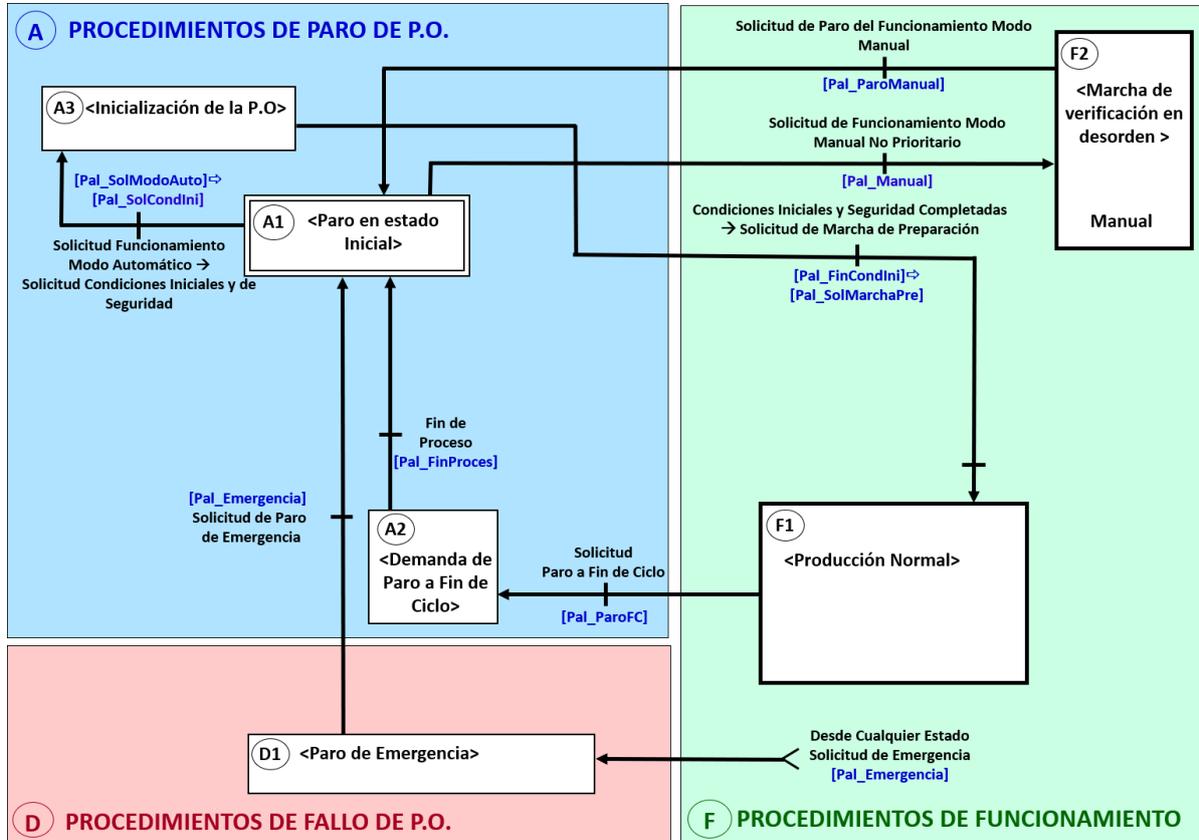


Fig. 29 GEMMA despaletizado

Partiendo del sistema en estado Paro en Estado inicial [A1], al solicitar su funcionamiento automático, se pasará al estado Inicialización de la Parte Operativa [A6] donde se deberán verificar las condiciones iniciales y de seguridad del sistema. Aquellos sistemas que requieran tareas de preparación previas a la producción disponen del estado Marcha Preparación [F2] como paso previo al estado Producción Normal [F1]. Cuando el sistema se encuentra en producción y se solicita la parada a fin de ciclo, el sistema pasará al estado Demanda de Paro a Fin de Ciclo [A2] hasta que se finalice el ciclo. Aquellos sistemas que precisen operaciones adicionales una vez finalizada la producción, requerirán del estado Marcha de Finalización [F3], tras lo cual el sistema se detendrá en el estado de reposo Paro en estado inicial [A1].

Asimismo, estos seis pasos permiten identificar los casos de uso que describen la funcionalidad de la secuencia principal con los actores que intervienen en los mismos, y las precondiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. El caso de uso “Solicitar funcionamiento modo automático” puede incluir los casos de uso “Inicializar parte operativa” y/o “Ejecutar marcha de preparación”, mientras que el caso de uso “Solicitar parada a fin de ciclo” puede incluir “Ejecutar macha de finalización”. Las solicitudes de los

actores externos al sistema de control van a determinar las pre-condiciones de ejecución de los casos de uso y las condiciones de evolución entre los estados de GEMMA; por ejemplo, el personal de planta puede ser quién solicite el funcionamiento y/o la parada a fin de ciclo. Cuando no hay intervención de actores externos, el sistema de control genera dichas condiciones.

La activación de la Emergencia hará evolucionar al sistema al estado de Paro de Emergencia [D1] desde cualquier estado GEMMA.

## 6.7.2 Diseños

### 6.7.2.1 Graficets

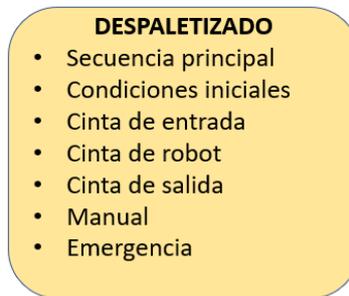


Fig. 30 Lista graficet despaletizado

- Secuencia principal: Este graficet organiza el arranque del sistema y control de la parada programada del mismo.

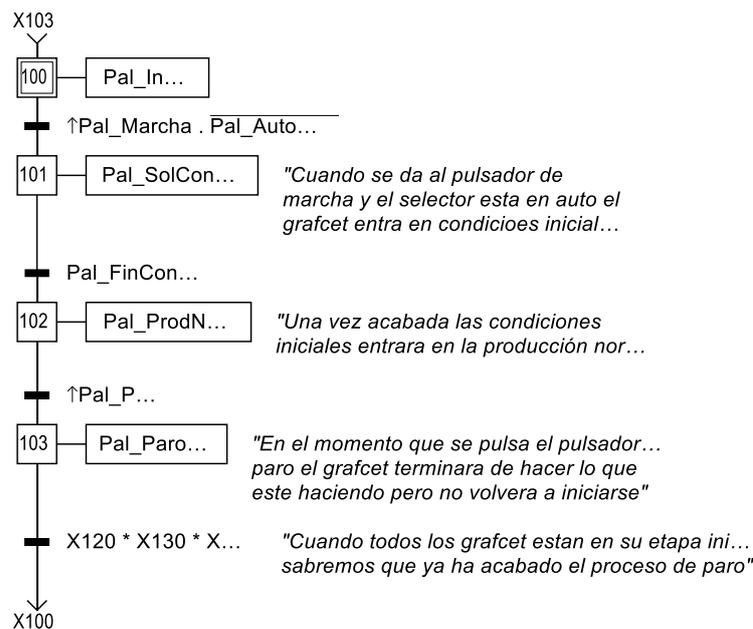


Fig. 31 Graficet secuencia principal despaletizado

- Condiciones iniciales: Se encarga de colocar todos los elementos en la posición correcta antes de empezar con la producción normal.

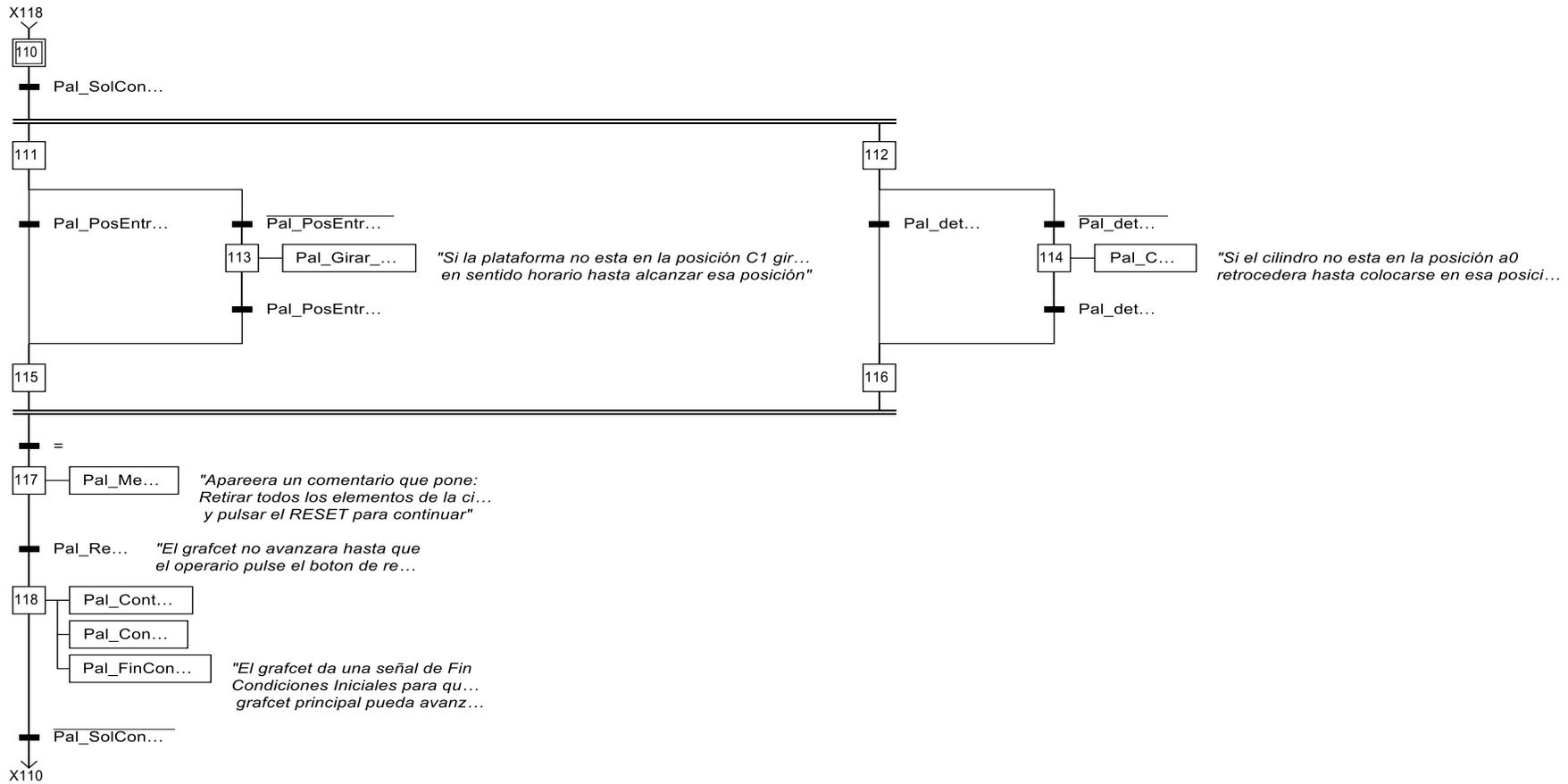


Fig. 32 Grafcet condiciones iniciales

Dentro de la producción normal estarán metidos los grafkets que controlarán toda la unidad:

- Grafket entrada: Este grafket se encarga de llevar los palets que van entrando hasta la plataforma y colocándolos en la posición correcta para la siguiente etapa.

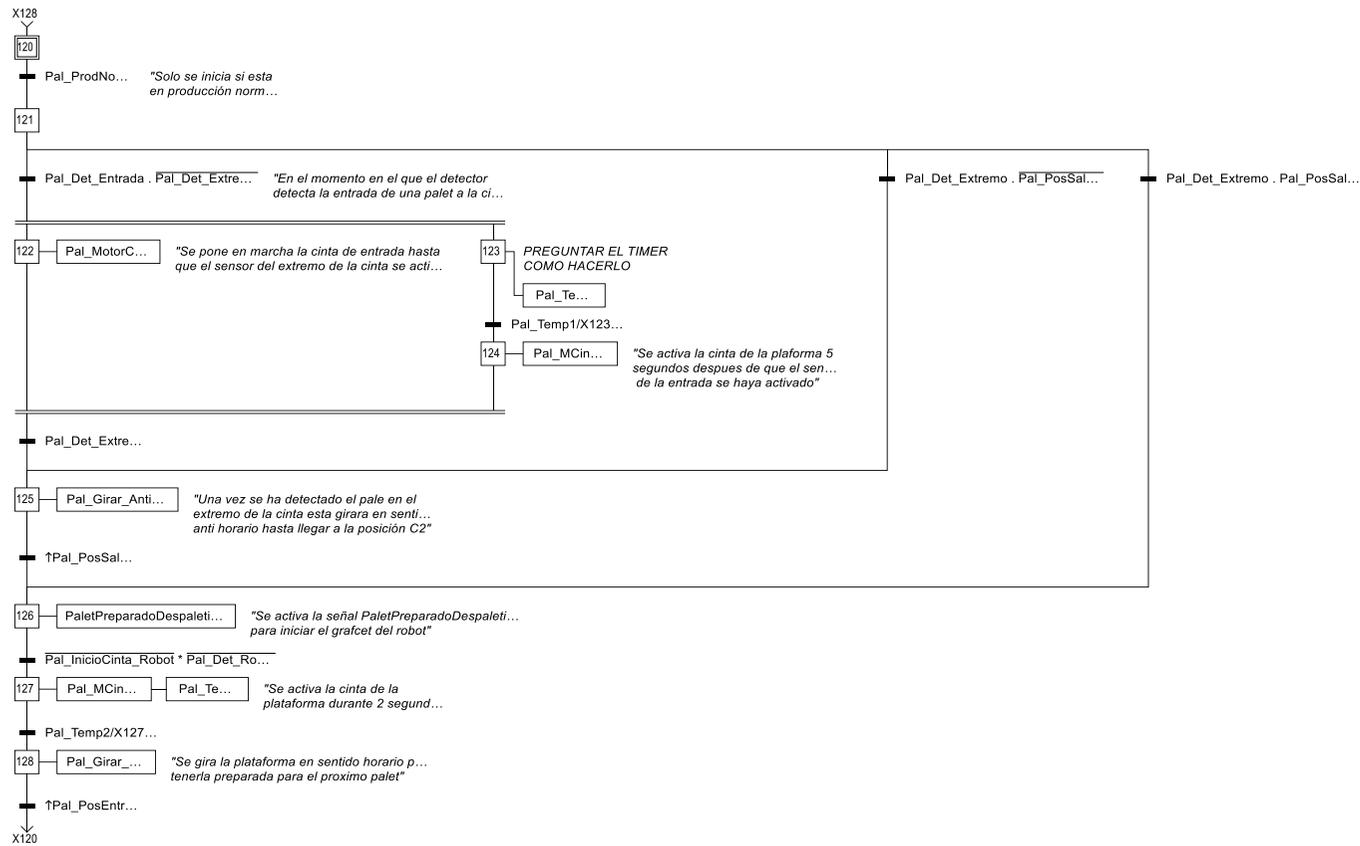


Fig. 33 Grafket Entrada de palets

- Grafcet robot: Este se encargará de transportar el palet hasta final de la cinta donde serán apilados y de colocar los cinco niveles de cajas que hay sobre el palet en la siguiente etapa.

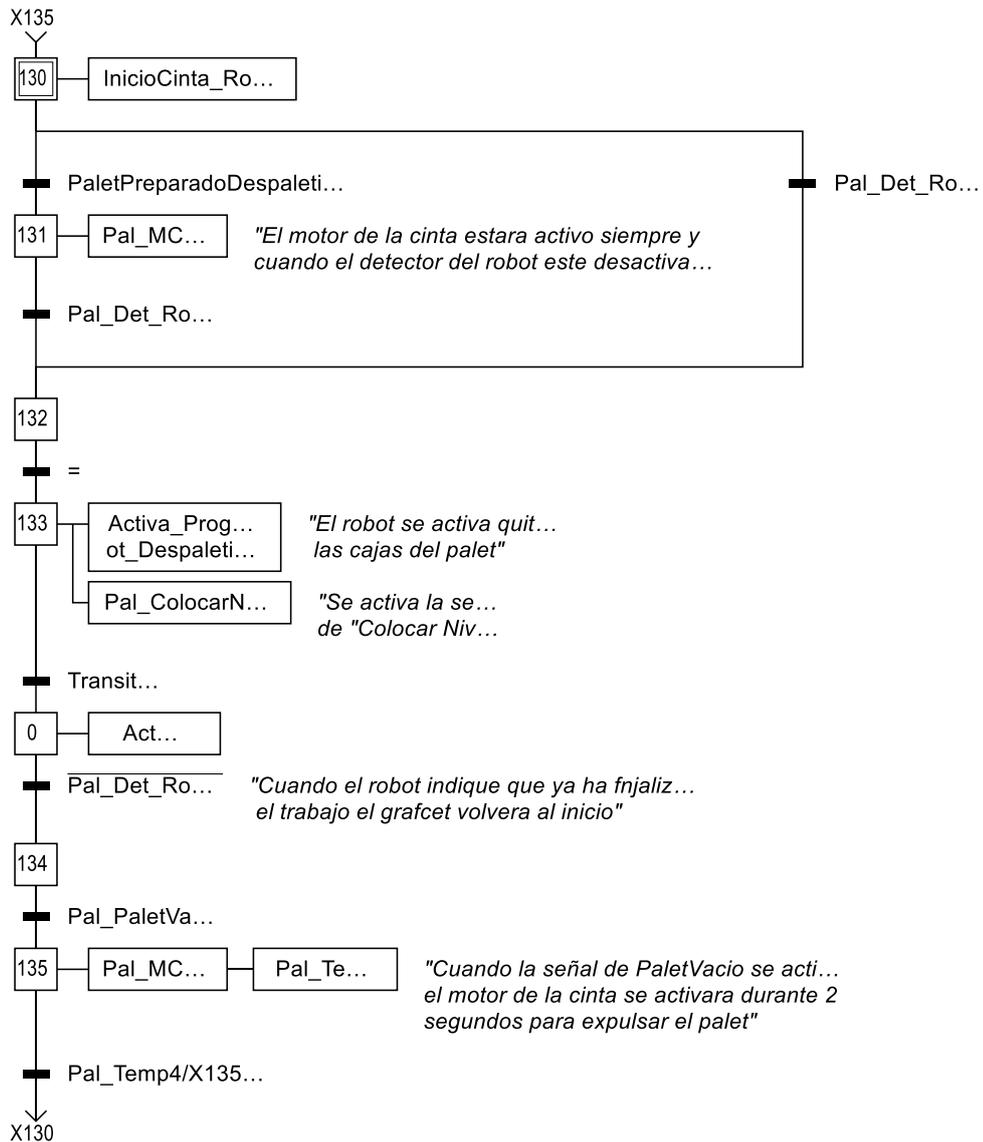


Fig. 34 Grafcet cinta robot

- Grafcet alineación: Se van alineando las cajas en la cinta de salida que previamente el robot ha depositado.

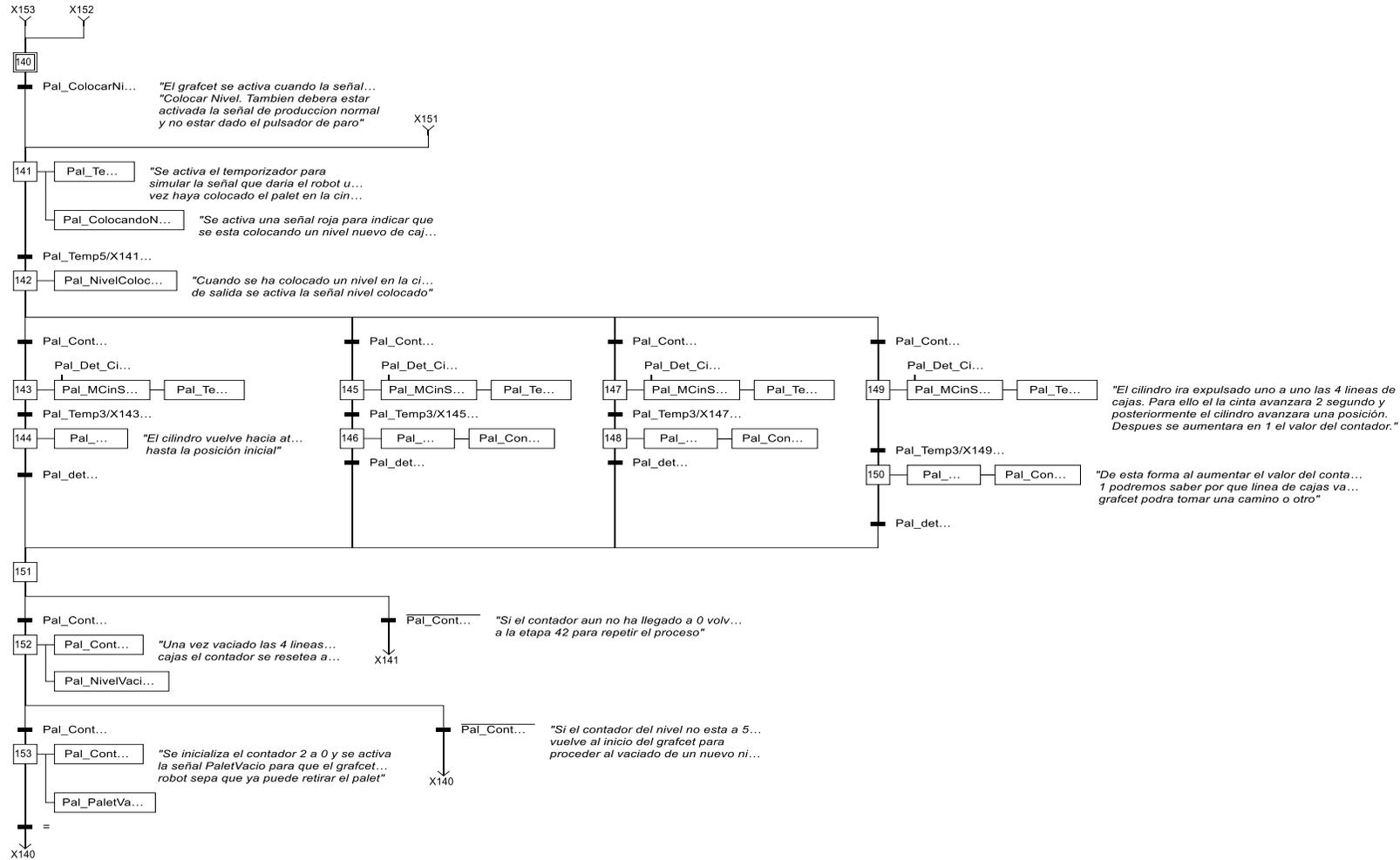


Fig. 35 Grafcet de salida de cajas

Fuera de la producción normal tendremos otros dos graficets:

- Graficet emergencia: Se utiliza para una situación de riesgo. Una vez activado se produce una parada instantánea del sistema.

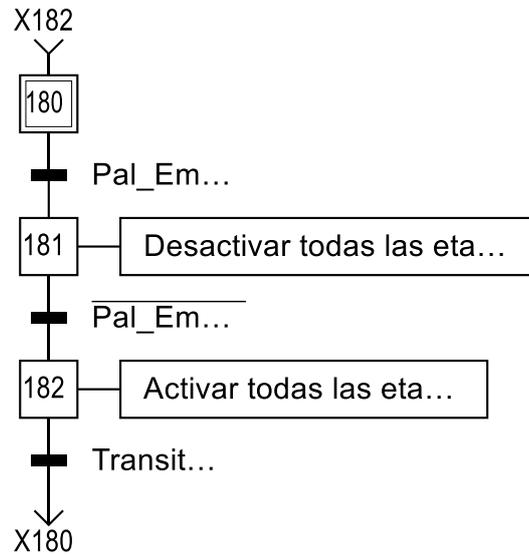


Fig. 36 Graficet emergencia despaletizado

- Graficet manual: El operario controla todo de forma manual. Esto será útil para la puesta a punto del sistema.

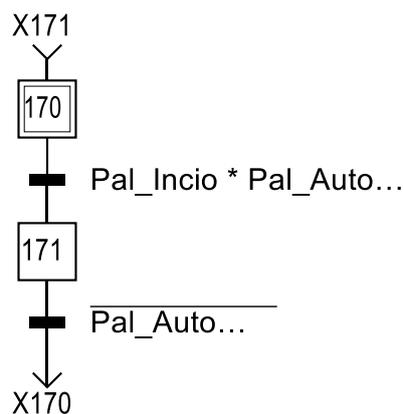


Fig. 37 Graficet modo manual despaletizado

## 7 Especificación de requisitos descajonado

La función de la unidad de descajonado es retirar las botellas de las cajas y separarlas en dos cintas diferentes. Para ello las cajas llegan alineadas de una en una en intervalos de 3 segundos para que una máquina rotatoria equipada con succionadores pueda retirar las botellas de las cajas y depositarlas en una cinta aparte para su posterior lavado y reutilización.



Fig. 38 Entrada cajas alineadas



Fig. 39 Succionador de botellas



Fig. 40 Succionador de botellas

### 7.1 Operaciones

En esta unidad se realizan tres operaciones:

- **Entrada de cajas:** En esta operación las cajas entran por la cinta de salida del anterior proceso alineada en una fila de uno en intervalos de 3 segundos. Al llegar al detector que indica que la caja está en la posición correcta para ser vaciada, la cinta se detendrá. Al desactivarse esta volverá a arrancar.
- **Descajonado:** Un robot giratorio equipado con 6 brazos y succionadores (uno por cada brazo) retira las botellas de las cajas y las deposita en otra cinta diferente a la de las cajas para su posterior lavado.

- Salida de botellas:** Las botellas son depositadas en grupos de 8 (las que vienen dentro de cada caja) en una cinta para que vayan al próximo proceso, en el cual serán lavadas.

## 7.2 Sistema físico



Fig. 41 Arbol desenchajado

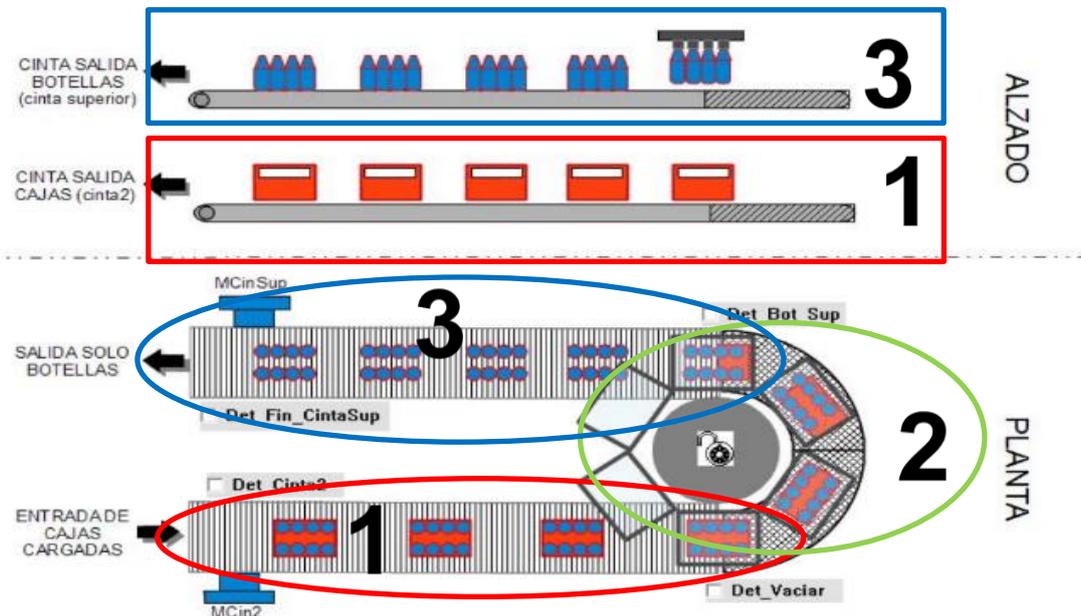


Fig. 42 Imagen desenchajado (Lopez Recio & Mérida Padial, 2013)

- En el primer módulo las cajas entran a través de la cinta 2 alineadas de una en una en intervalos de 3 segundos. Esta estará quieta hasta que el detector de la cinta que se encuentra al inicio de la cinta se active (**Caj\_det\_Cinta2**). En el momento que el detector se activa el motor de la cinta se pondrá en marcha (**Caj\_MCin2**) y comenzara a transportar las cajas con las botellas.

La cinta continuará en movimiento hasta que el detector de vaciar las cajas se active (**Caj\_det\_Vaciar**). En ese momento la cinta que transporta las cajas se detendrá para que la maquina giratoria pueda extraer correctamente las botellas de la caja. Una vez que la caja haya sido vaciada y se desactive el detector (**Caj\_det\_Vaciar**) el motor de la cinta 2 (**Caj\_MCin2**) volverá a arrancar hasta la próxima señal del detector de vaciar (**Caj\_det\_Vaciar**).

2. El segundo módulo consiste en una maquina giratoria que se encargara de sacar las botellas de las cajas con unos succionadores para posteriormente colocarlas en otra cinta para ser transportadas a otra unidad.

En el momento que se activa el sensor del módulo uno de vaciado (**Caj\_det\_Vaciar**) (esa posición siempre coincide para que el succionador este sobre las boquillas de las botellas) se activará la señal (**Caj\_RotDesc**), los succionadores descenderán para coger las botellas y se activara el succionador de aire (**Caj\_Succionador**) para atrapar las botellas. Para saber que las botellas están bien agarradas esperaremos a la activación del sensor (**Caj\_det\_BotRotor**) que nos indicara que las botellas han sido correctamente agarradas. Una vez activado el sensor que indica que esta todo correcto (**Caj\_det\_BotRotor**) se activara la señal **Caj\_Rot\_Asc** para recoger los succionadores hacia arriba.

Finalmente se activa la señal **Caj\_Girar** para que la maquina gire a la siguiente posición.

Se considerará que entre caja y caja transcurren 3 segundos.

3. El tercer módulo consiste en una cinta que se encargara de transportar las botellas que ya han sido extraídas de sus cajas al próximo proceso.

Cuando el sensor de la cinta superior se activa (**Caj\_det\_BotSup**) esta se pondrá en marcha a través del motor de la cinta (**Caj\_MCinSup**). La cinta estará en funcionamiento hasta que el detector de final de la cinta se active (**Caj\_det\_FinCinSup**).

4. **Condiciones iniciales:** Para las condiciones iniciales las 2 cintas tendrán que estar vacías Para ello en la pantalla del HMI aparecerá un mensaje (**Mens0**) en el que ponga que tiene que retirar todos los elementos de la cinta y después que pulse el botón Reset. Una vez retiradas todas las cajas el operario tendrá que pulsar el botón Reset de la pantalla para poder arrancar el sistema.

Por otro lado, todos los succionadores deberán estar en la posición de recogido (**Caj\_SucRecogido**). En caso de que no lo estén se activa una señal de recoger el succionador (**Caj\_Recoger Suc**) hasta que alcance la posición de recogido.

## 7.3 Modos de funcionamiento

### 7.3.1 Automático

Si activamos el sistema con el selector en la posición automático el sistema despaletizará todo de forma automática sin necesidad de la intervención del operario.

### 7.3.2 Manual

El sistema estará completamente gobernado por el operario, de esta forma el operario tendrá total control sobre todo el sistema para hacer los ajustes y movimiento necesarios en la unidad.

### 7.3.3 Parada de emergencia

El sistema entrara en parada de emergencia cuando algún operario pulse la seta de emergencia. En ese mismo instante se detendrán todos los procesos que estén en marcha. Con este funcionamiento se quieren evitar accidentes.

## 7.4 Condiciones de arranque

- La máquina giratoria tiene que estar en su posición inicial.
- Las cintas tienen que estar vacías antes de arrancar.

## 7.5 Sistema de supervisión

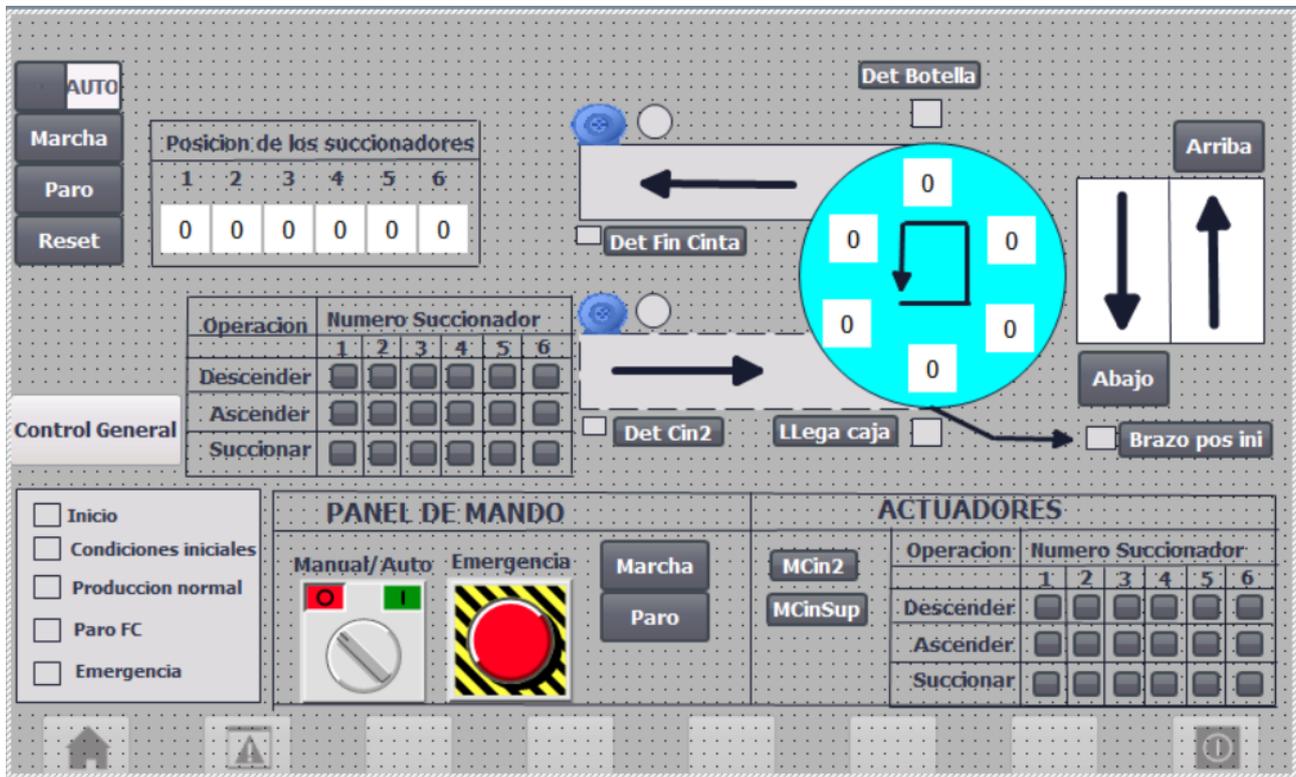


Fig. 43 HMI Desencajado

El sistema de supervisión procesará la siguiente información referente a la estación:

- Posición en la que se encuentra cada succionador en todo momento.
- Tabla para indicar en qué estado se encuentra cada succionador.

Controles sobre la estación:

- Pulsador de marcha
- Pulsador de parada
- Conmutador de modo automático/manual
- Pulsador de reset
- Pulsador para volver al control general
- Pulsador de emergencia
- Pulsadores para cada acción que se puede realizar en la estación

## 7.6 Señales

Las señales están agrupadas en tres grupos: Señales de entrada, señales de salida y señales de control:

### 7.6.1 Entradas

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMV/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Caj_Abajo	Bool	%I10.0	False	True	True	True		Sensor que indica que el brazo esta en la posicion de abajo	
Caj_Arriba	Bool	%I10.1	False	True	True	True		Sensor que indica que el brazo esta en la posicion de abajo	
Caj_FinGiro	Bool	%I10.2	False	True	True	True		Señal para avisar final de giro del separador	
Caj_LlegaCaja	Bool	%I10.3	False	True	True	True		Señal detector inicio cinta	
Caj_Marcha	Bool	%I10.4	False	True	True	True		Señal pulsador marcha	
Caj_Paro	Bool	%I10.5	False	True	True	True		Señal pulsador paro	
Caj_AutoMan	Bool	%I10.6	False	True	True	True		Señal conmutador Auto Manual	
Caj_Reset	Bool	%I10.7	False	True	True	True		Señal pulsador reset	
Caj_det_Cin2	Bool	%I11.0	False	True	True	True		Detector de la cinta 2	
Caj_det_Sup	Bool	%I11.1	False	True	True	True		Detector de la cinta superior	
Caj_det_FinCinSup	Bool	%I11.2	False	True	True	True		Detector del final de la cinta superior	
Caj_BrazoPosini	Bool	%I11.3	False	True	True	True		Señal que indica separador en estado inicial	
Caj_Emerg	Bool	%I11.4	False	True	True	True		Señal pulsador de emergencia	

Tabla 4 Variables entrada desencajonado

### 7.6.2 Señales de control

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMV/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Caj_Inicializar_PosicionBrazos	Bool	%M200.0	False	True	True	True		Señal de control del array	
Caj_Inicializar_SalidasBrazos	Bool	%M200.1	False	True	True	True		Señal de control del array	
Caj_Rotar_PosicionBrazos	Bool	%M200.2	False	True	True	True		Señal para controlar movimiento array	
Caj_Inicio	Bool	%M200.3	False	True	True	True		Señal inicio	
Caj_SolCondIni	Bool	%M200.4	False	True	True	True		Señal solicitud condiciones iniciales	
Caj_FinCondIni	Bool	%M200.5	False	True	True	True		Señal fin solicitud condiciones iniciales	
Caj_ProdNorm	Bool	%M200.6	False	True	True	True		Señal de produccion normal	
Caj_ParoFC	Bool	%M200.7	False	True	True	True		Señal de paro fin de ciclo	
Caj_FinProceso	Bool	%M201.0	False	True	True	True		señal de fin de proceso	
Caj_VaciarCaja	Bool	%M201.1	False	True	True	True		Señal indica momento de vaciar caja	
Caj_BotellaColocada	Bool	%M201.2	False	True	True	True		Señal para controlar botella	
Caj_AuxFinProces	Bool	%M201.3	False	True	True	True		Señale de control para HMI	
Caj_AuxBajar	Bool	%M201.4	False	True	True	True		Señale de control para HMI	
Caj_AuxSubir	Bool	%M201.5	False	True	True	True		Señale de control para HMI	
Caj_InicioManual	Bool	%M201.6	False	True	True	True		Señal de inicio del modo manual	

Tabla 5 Variables de control desencajonado

### 7.6.3 Salidas

Variables PLC								
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario
Caj_Desc1	Bool	%Q4.0	False	True	True	True		Señal de descender succionador 1
Caj_Desc2	Bool	%Q4.1	False	True	True	True		Señal de descender succionador 2
Caj_Desc3	Bool	%Q4.2	False	True	True	True		Señal de descender succionador 3
Caj_Desc4	Bool	%Q4.3	False	True	True	True		Señal de descender succionador 4
Caj_Desc5	Bool	%Q4.4	False	True	True	True		Señal de descender succionador 5
Caj_Desc6	Bool	%Q4.5	False	True	True	True		Señal de descender succionador 6
Caj_Asc1	Bool	%Q4.6	False	True	True	True		Señal de ascender succionador 1
Caj_Asc2	Bool	%Q4.7	False	True	True	True		Señal de ascender succionador 2
Caj_Asc3	Bool	%Q5.0	False	True	True	True		Señal de ascender succionador 3
Caj_Asc4	Bool	%Q5.1	False	True	True	True		Señal de ascender succionador 4
Caj_Asc5	Bool	%Q5.2	False	True	True	True		Señal de ascender succionador 5
Caj_Asc6	Bool	%Q5.3	False	True	True	True		Señal de ascender succionador 6
Caj_Suc1	Bool	%Q5.4	False	True	True	True		Señal de succionar 1
Caj_Suc2	Bool	%Q5.5	False	True	True	True		Señal de succionar 2
Caj_Suc3	Bool	%Q5.6	False	True	True	True		Señal de succionar 3
Caj_Suc4	Bool	%Q5.7	False	True	True	True		Señal de succionar 4
Caj_Suc5	Bool	%Q6.0	False	True	True	True		Señal de succionar 5
Caj_Suc6	Bool	%Q6.1	False	True	True	True		Señal de succionar 6
Caj_GiroSeparador	Bool	%Q6.2	False	True	True	True		Señal indica separador girando
Caj_MCin2	Bool	%Q6.3	False	True	True	True		Señal de motor activado en cinta 2
Caj_MCinSup	Bool	%Q6.4	False	True	True	True		Señal de motor activado en cinta superior
Caj_SalidaT2	Bool	%Q6.5	False	True	True	True		Salida del timer 2
Caj_Cont1	Int	%QW6	False	True	True	True		Señal del contador 1

Tabla 6 Variables de salida desencajonado

## 7.7 Análisis y diseño

### 7.7.1 GEMMA

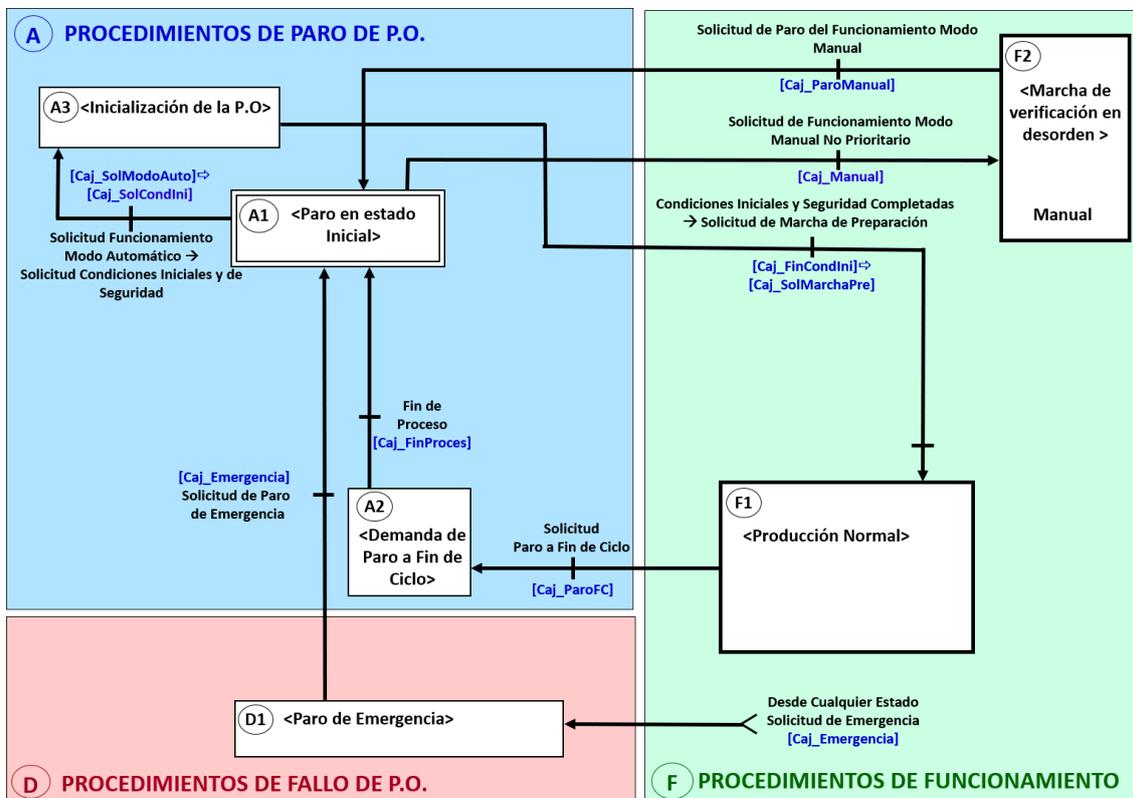


Fig. 44 GEMMA descajonado

Partiendo del sistema en estado Paro en Estado inicial [A1], al solicitar su funcionamiento automático, se pasará al estado Inicialización de la Parte Operativa [A6] donde se deberán verificar las condiciones iniciales y de seguridad del sistema. Aquellos sistemas que requieran tareas de preparación previas a la producción disponen del estado Marcha Preparación [F2] como paso previo al estado Producción Normal [F1]. Cuando el sistema se encuentra en producción y se solicita la parada a fin de ciclo, el sistema pasará al estado Demanda de Paro a Fin de Ciclo [A2] hasta que se finalice el ciclo. Aquellos sistemas que precisen operaciones adicionales una vez finalizada la producción, requerirán del estado Marcha de Finalización [F3], tras lo cual el sistema se detendrá en el estado de reposo Paro en estado inicial [A1].

Asimismo, estos seis pasos permiten identificar los casos de uso que describen la funcionalidad de la secuencia principal con los actores que intervienen en los mismos, y las precondiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. El caso de uso "Solicitar funcionamiento modo automático" puede incluir los casos de uso "Iniciar parte operativa" y/o "Ejecutar marcha de preparación", mientras que el caso de uso "Solicitar parada a fin de ciclo" puede incluir "Ejecutar marcha de finalización". Las solicitudes de los actores externos al sistema de control van a determinar las pre-condiciones de ejecución

de los casos de uso y las condiciones de evolución entre los estados de GEMMA; por ejemplo, el personal de planta puede ser quién solicite el funcionamiento y/o la parada a fin de ciclo. Cuando no hay intervención de actores externos, el sistema de control genera dichas condiciones. La activación de la Emergencia hará evolucionar al sistema al estado de Paro de Emergencia [D1] desde cualquier estado GEMMA.

## 7.7.2 Diseños

### 7.7.2.1 Graficets

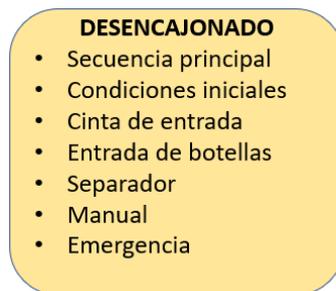


Fig. 45 Lista graphicets desenchajonado

- Secuencia principal: Este graphicet organiza el arranque del sistema y control de la parada programada del mismo.

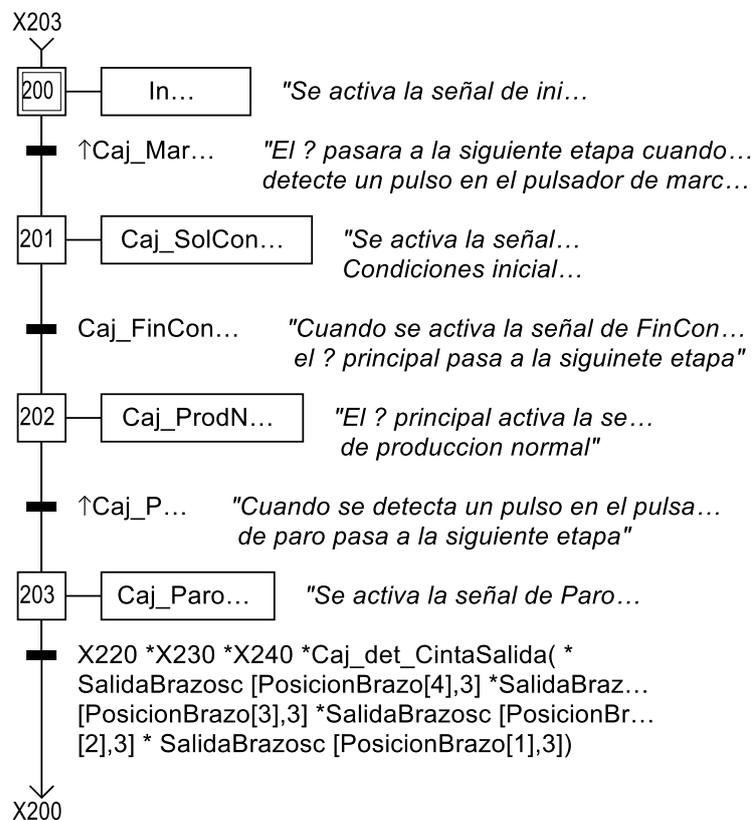


Fig. 46 Graphicet condiciones iniciales desenchajonado

- Condiciones iniciales: Se encarga de colocar todos los elementos en la posición correcta antes de empezar con la producción normal.

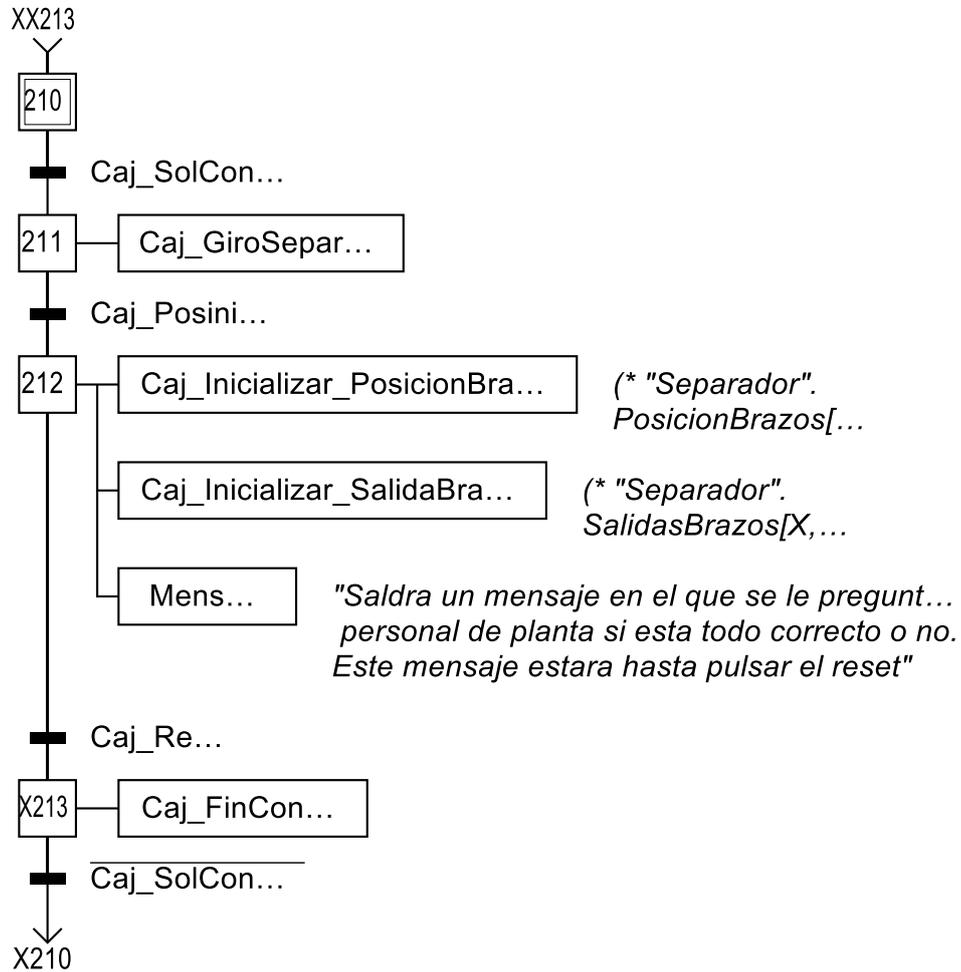


Fig. 47 Grafcet Condiciones iniciales desencajonado

Dentro de la producción normal estarán metidos los graficets que controlarán toda la unidad:

- Cinta de cajas: Se encarga del movimiento de la cinta transportadora que lleva las cajas hacia la maquia giratoria para ser vaciadas.

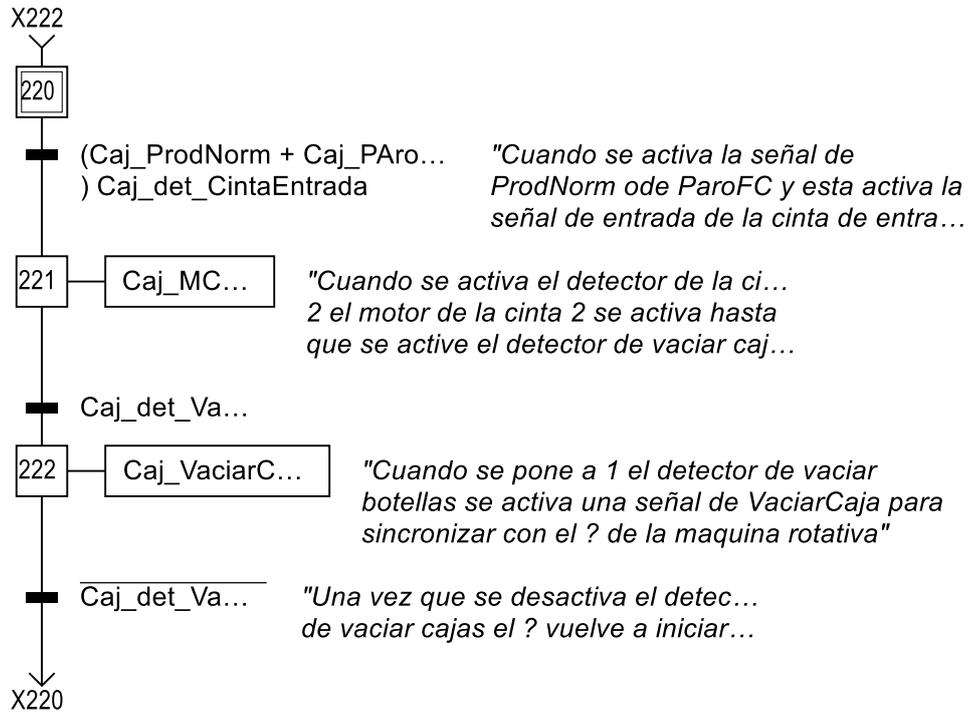


Fig. 48 Graficet entrada de cajas

- Maquina rotativa: Se encarga de gestionar el movimiento de la maquina giratoria de 6 brazos que sacará las botellas de las cajas mediante los succionadores y las subirá a la cinta superior.

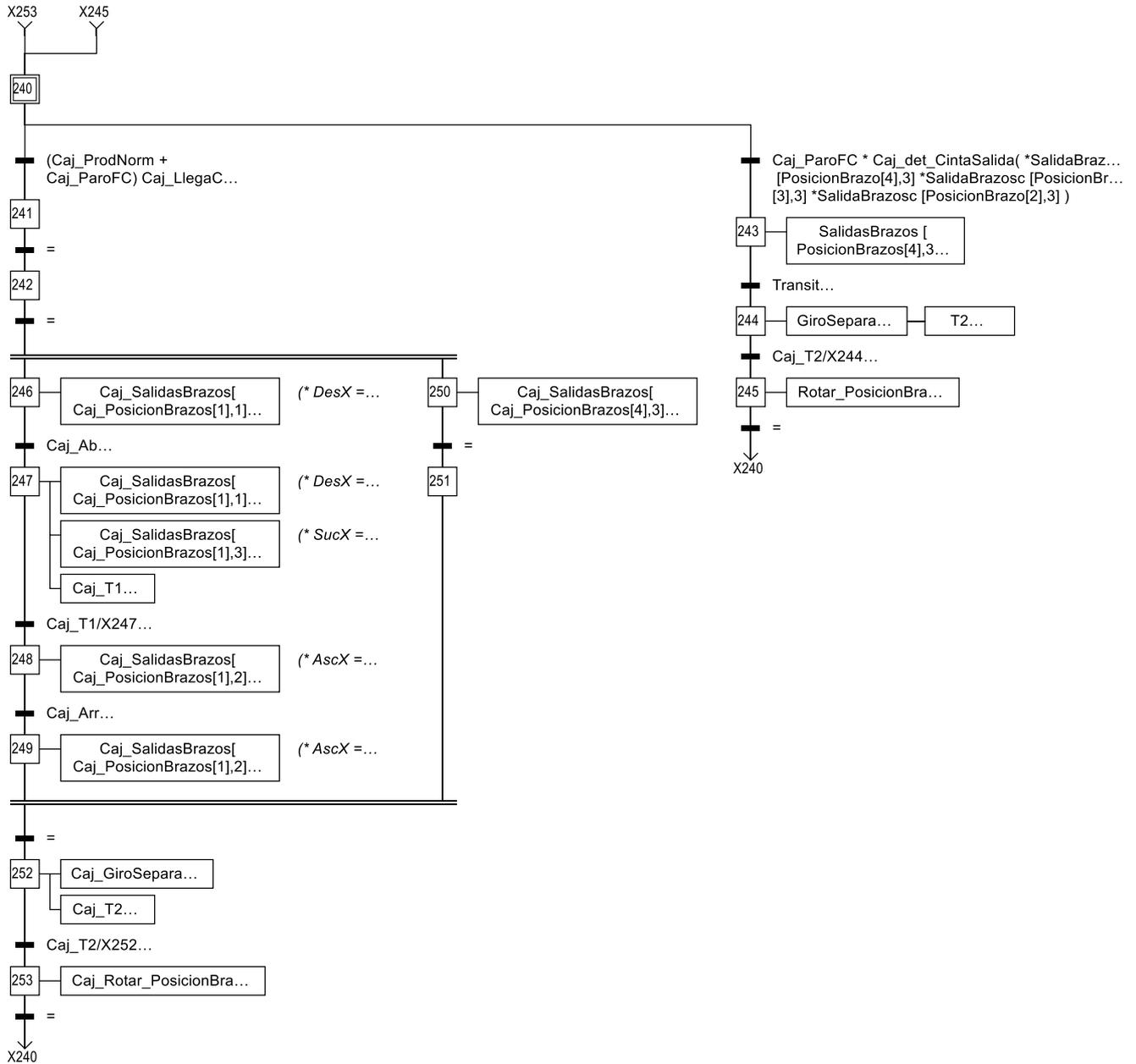


Fig. 49 Graficet maquina rotatoria

- Cinta superior: Se encarga de controlar el movimiento de la cinta que lleva las botellas al siguiente proceso.

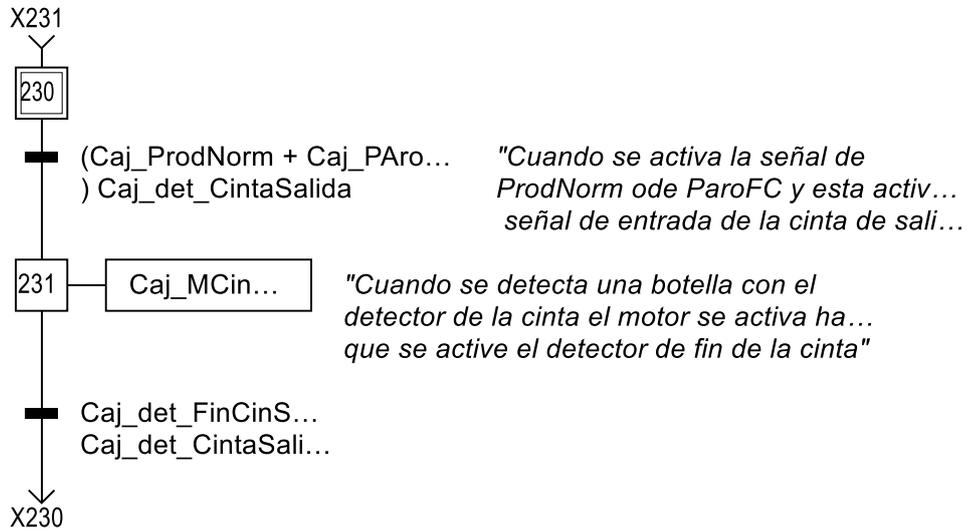


Fig. 50 Grafcet salida de botellas

Fuera de la producción normal tendremos otros dos graficets:

- Graficet emergencia: Se utiliza para una situación de riesgo. Una vez activado se produce una parada instantánea del sistema.

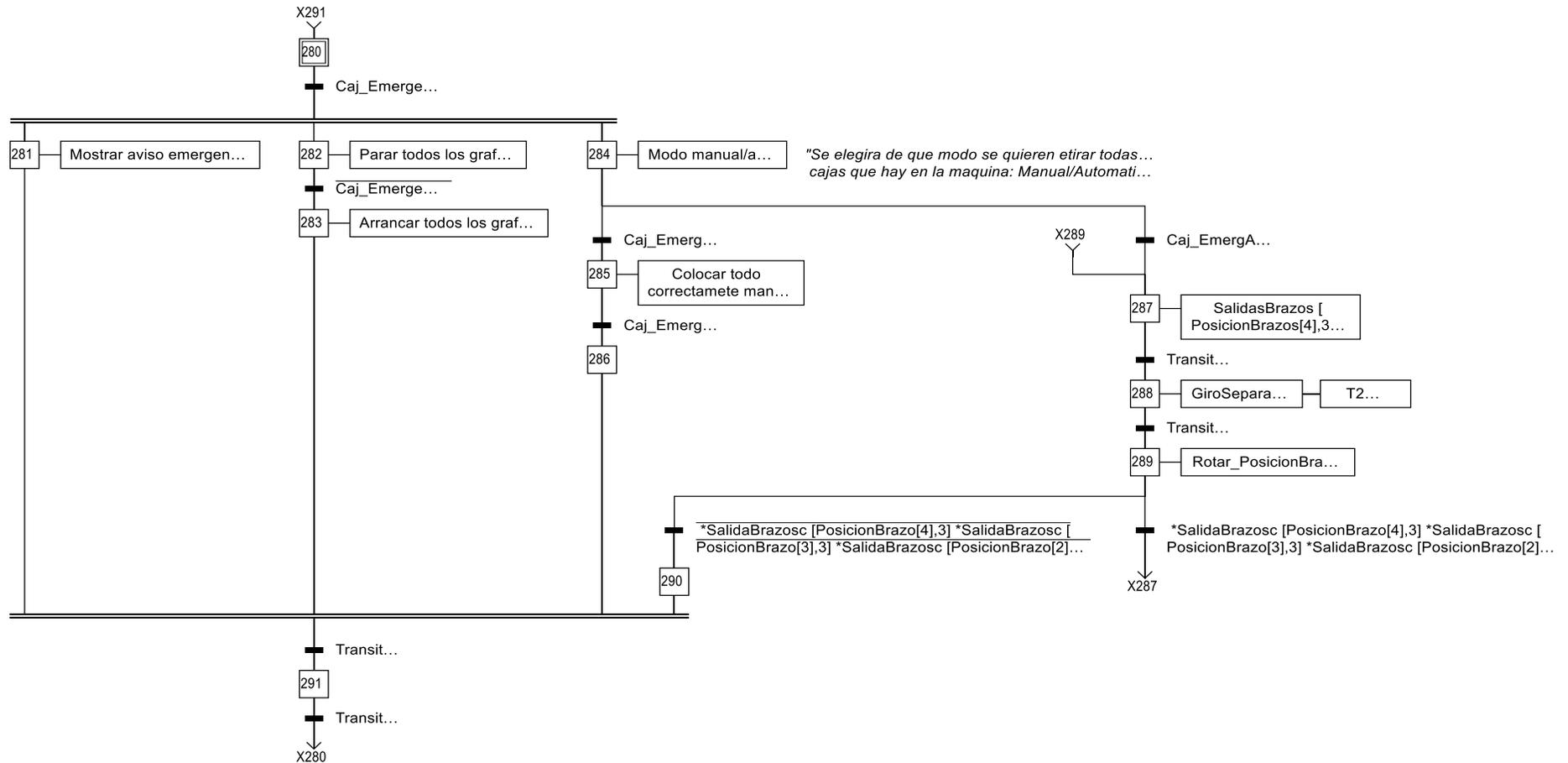


Fig. 51 Graficet de emergencia desencajonado

- Grafcet manual: El operario controla todo de forma manual. Esto será útil para la puesta a punto del sistema.

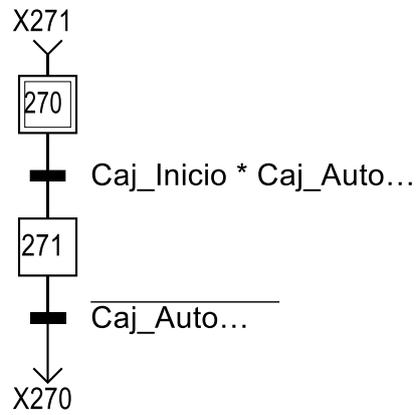


Fig. 52 Grafcet modo manual

## 8 Especificación de requisitos lavadora

La función de la unidad de lavado es limpiar todas las botellas y cajas que llegan de la unidad de desencajonado. Para limpiar las cajas se usará una pequeña lavadora que limpiara las cajas que se moverán en una fila de uno a través de una cinta.

Las botellas por el contrario entraran en una lavadora mucho más grande en la que entraran varias botellas al mismo tiempo para ser lavadas. Este proceso de lavado durara 18 minutos. Una vez finalizado serán depositadas en otra cinta para ir al próximo proceso en el cual verificarán que estén correctamente limpias.



Fig. 53 Botellas en boca lavadora



Fig. 54 Botellas en lavadora



Fig. 55 Cinta entrada lavadora

### 8.1 Operaciones

En esta unidad se realizan tres operaciones:

- **Lavado de cajas:** Entran por la cinta las cajas alineadas de una en una ya vacías hacia la lavadora de cajas. En esta se limpian las cajas y salen por la misma cinta hacia otra operación.
- **Lavado de botellas** Las botellas entran por la cinta y después de ser sometidas a una inspección visual por un operario entran en la lavadora durante 18 minutos. Después saldrán por otra cinta que ira a la siguiente unidad en la cual se inspeccionara que el lavado ha sido correcto.

## 8.2 Sistema físico

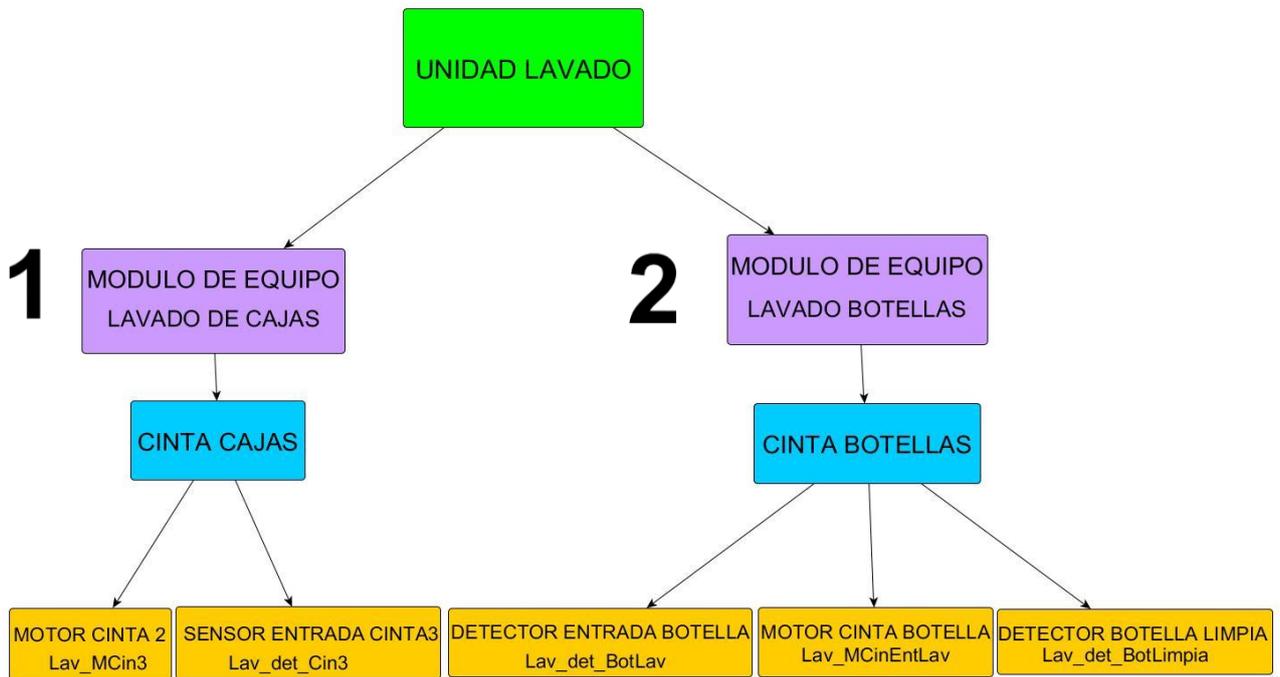


Fig. 56 Árbol lavadora

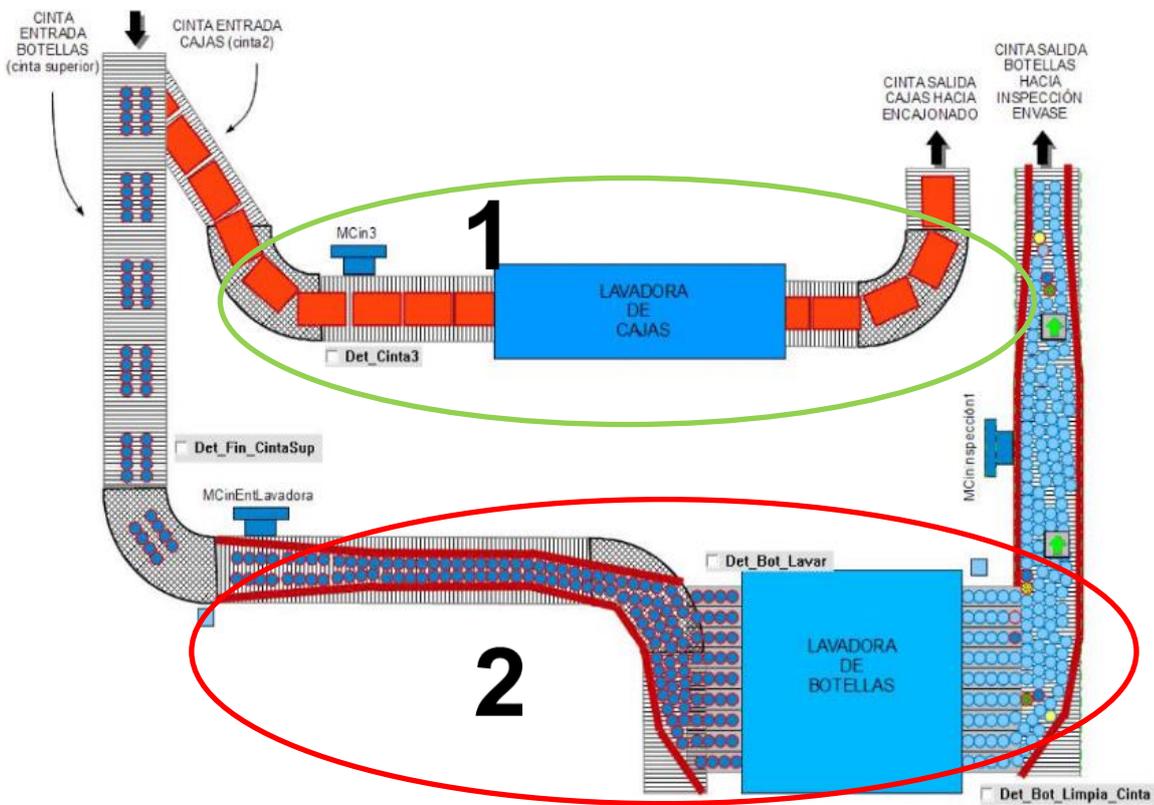


Fig. 57 Imagen modulo lavadora (Lopez Recio & Mérida Padial, 2013)

1. En el primer módulo (Modulo de lavado de cajas) cada vez que se detecta una caja al comienzo de la cinta se activará el detector (**Lav\_det\_Cinta3**) y se pondrá en funcionamiento el motor de la cinta 3 (**Lav\_MCin3**) durante 10 segundos. Si al finalizar la temporización no se ha vuelto a detectar una caja en la entrada de la cinta 3 significará que no hay más cajas para lavar. Si por el contrario, sí se ha detectado, habrá que volver a poner en marcha la cinta durante 10 segundos. Una vez que las cajas han salido de la lavadora se almacenaran para su posterior reutilización.
2. En el segundo módulo (de lavado de botellas) las botellas ya separas de las cajas son llevadas a la lavadora donde tendrán que permanecer durante 18 minutos. En la cinta de entrada hacia la lavadora el personal de la planta retirará de la botella todo lo que no sea vidrio (pajitas, tapones, plásticos...).

Al inicio de la producción la cinta superior que viene de la unidad de desencajonado (**Caj\_MCinSup**) y la cinta de entrada a la lavadora (**Lav\_MCinEntLav**) se pondrán en marcha simultáneamente durante un segundo. Después únicamente seguirá en marcha la cinta de entrada a la lavadora (**Lav\_MCinEntLav**) hasta que se active el sensor (**Lav\_det\_BotLimCinta**) que nos indicará que una botella esta fuera de la lavadora.

Una vez que haya botellas en la posición en la que se introduce la botella a la lavadora y se active el detector (**Lav\_det\_BotLavar**) se procede a lavarlas (**Lav\_LavarBot**).

3. **Condiciones iniciales:** Para las condiciones iniciales el sistema deberá estar vacío, cosa de la que el personal de planta se habrá encargado previamente. Una vez que se asegure que no hay piezas se deberá dar al pulsador de Reset de HMI.
4. **Marcha de preparación:** Antes de empezar con la producción la lavadora tendrá que estar a 70 C (**Lav\_TempOk**) y 25% de sosa (**Lav\_SosaOk**). En caso de que estas condiciones no se cumplan se activara la señal **CalentarLav** hasta que la temperatura sea la correcta y se añadirá la sosa correspondiente mediante la señal **Sosa**.

### 8.3 Modos de funcionamiento

#### 8.3.1 Automático

Si activamos el sistema con el selector en la posición automático el sistema despaletizará todo de forma automática sin necesidad de la intervención del operario.

### 8.3.2 Manual

El sistema estará completamente gobernado por el operario, de esta forma el operario tendrá total control sobre todo el sistema para hacer los ajustes y movimiento necesarios en la unidad.

### 8.3.3 Parada de emergencia

El sistema entrara en parada de emergencia cuando algún operario pulse la seta de emergencia. En ese mismo instante se detendrán todos los procesos que estén en marcha. Con este funcionamiento se quieren evitar accidentes.

## 8.4 Condiciones de arranque

- El tanque de sosa tiene que estar lleno.
- La temperatura de la lavadora tiene que estar en el nivel adecuado.
- Las cintas no tienen que tener botellas ni cajas.

## 8.5 Sistema de supervisión

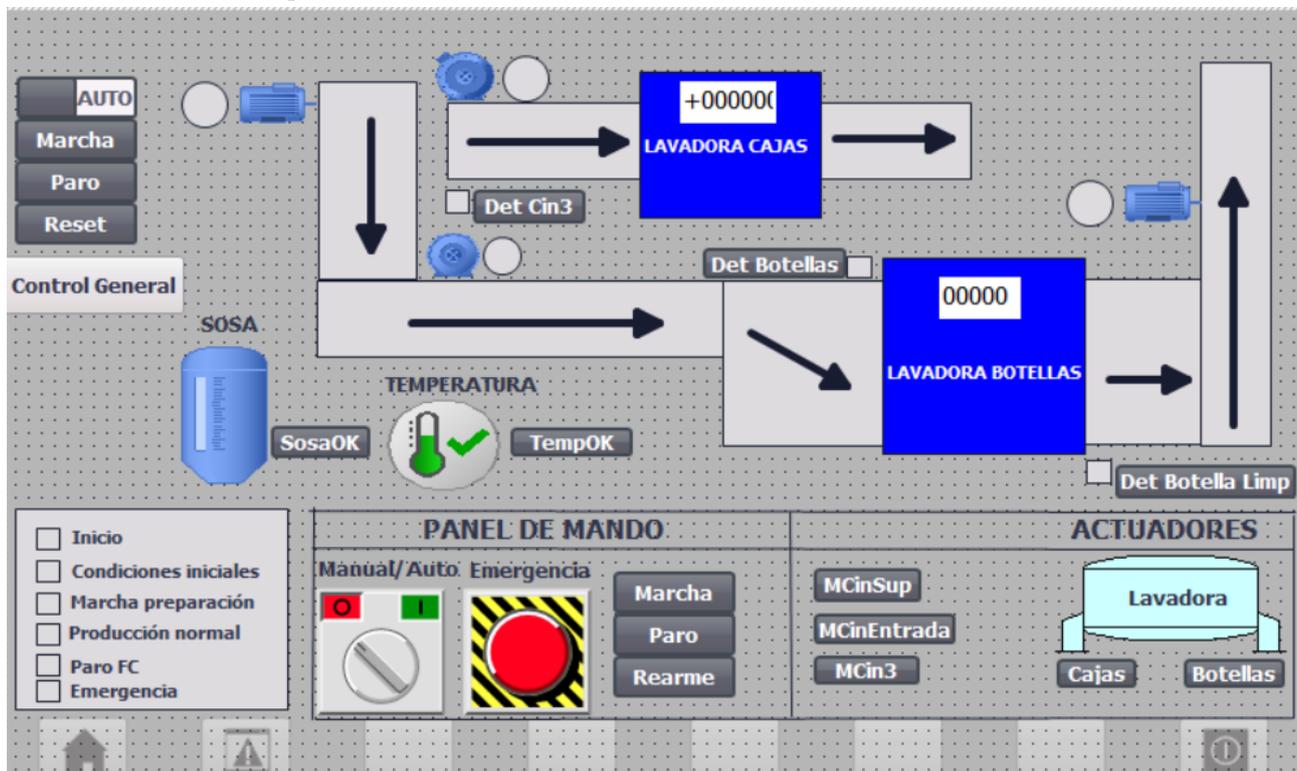


Fig. 58 HMI lavadora

El sistema de supervisión procesará la siguiente información referente a la estación:

- Pantalla para ver el valor del temporizador de las dos lavadoras.

## Controles sobre la estación:

- Pulsador de marcha
- Pulsador de parada
- Conmutador de modo automático/manual
- Pulsador de reset
- Pulsador para volver al control general
- Pulsador de emergencia
- Pulsadores para cada acción que se puede realizar en la estación

## 8.6 Señales

### 8.6.1 Entradas

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Lav_Marcha	Bool	%I0.0	False	True	True	True		Pulsador de marcha	
Lav_Paro	Bool	%I0.1	False	True	True	True		Pulsador de paro	
Lav_AutoMan	Bool	%I0.2	False	True	True	True		Selector auto /manual	
Lav_Reset	Bool	%I0.3	False	True	True	True		Pulsador de reset	
Lav_TempOK	Bool	%I0.4	False	True	True	True		Señal de temperatura OK	
Lav_SosaOK	Bool	%I0.5	False	True	True	True		Señal de sosa OK	
Lav_det_Cinta3	Bool	%I0.6	False	True	True	True		Detector de la cinta 3	
Lav_det_BotLimpia	Bool	%I0.7	False	True	True	True		Detector de salida de la lavadora	
Lav_det_LimpiarBot	Bool	%I1.0	False	True	True	True		Detector de entrada de la lavadora	
Lav_det_Cinta3Aux	Bool	%M302.0	False	True	True	True		Señal auxiliar	
Lav_det_Cinta3_FP	Bool	%M302.1	False	True	True	True		Detector de final de la cinta 3	
Lav_Emergencia	Bool	%I1.1	False	True	True	True		Pulsador de emergencia	

Tabla 7 Variables de entrada lavadora

### 8.6.2 Salidas

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Lav_CalentarLav	Bool	%Q0.0	False	True	True	True		Señal para calentar la lavadora	
Lav_Sosa	Bool	%Q0.1	False	True	True	True		Señal para añadir sosa	
Lav_MCin3	Bool	%Q0.2	False	True	True	True		Motor cinta 3	
Lav_MCinSup	Bool	%Q0.3	False	True	True	True		Motor cinta superior	
Lav_MCinEntLav	Bool	%Q0.4	False	True	True	True		Motor de la cinta de entrada lavadora	
Lav_LavadoraCaja	Bool	%Q0.5	False	True	True	True		Señal inicio lavadora de cajas	
Lav_LavadoraBotella	Bool	%Q0.6	False	True	True	True		Señal inicio lavadora de botellas	
Lav_MCinVerif	Bool	%Q0.7	False	True	True	True		Motor cinta verificacion	

Tabla 8 Variables de salida lavadora

### 8.6.3 Señales de control

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HM/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Lav_Inicio	Bool	%M300.0	False	True	True	True		Señal de inicio del programa	
Lav_SolCondini	Bool	%M300.1	False	True	True	True		Señal de inicio solicitud condiciones iniciales	
Lav_FinCondini	Bool	%M300.2	False	True	True	True		Señal de fin de condiciones iniciales	
Lav_MarchaPrep	Bool	%M300.3	False	True	True	True		Inicio de la marcha de preparacion	
Lav_ProdNorm	Bool	%M300.4	False	True	True	True		Inicio de la produccion normal	
Lav_ParoFC	Bool	%M300.5	False	True	True	True		Señal de estado de paro fin de ciclo	
Lav_Mensaje	Bool	%M300.6	False	True	True	True		Mensaje de inicio	
Lav_Salida_TM1	Bool	%M300.7	False	True	True	True		Salida del timer 1	
Lav_Salida_TM2	Bool	%M301.0	False	True	True	True		Salida del timer 2	
Lav_Lavar	Bool	%M301.1	False	True	True	True		Señal para iniciar lavadora	
Lav_Salida_TM3	Bool	%M301.2	False	True	True	True		Salida del timer 3	
Lav_FinMarchaPrep	Bool	%M301.3	False	True	True	True		Fin de la marcha de preparacion	
Lav_FinParo	Bool	%M301.4	False	True	True	True		Señal de fin del paro	
Lav_SosaTempOK	Bool	%M301.5	False	True	True	True		Señal de temperatura y sosa OK	
Lav_InicioManual	Bool	%M301.6	False	True	True	True		Inicio del modo manual	

Tabla 9 Variables de control lavadora

## 8.7 Análisis y diseño

### 8.7.1 GEMMA

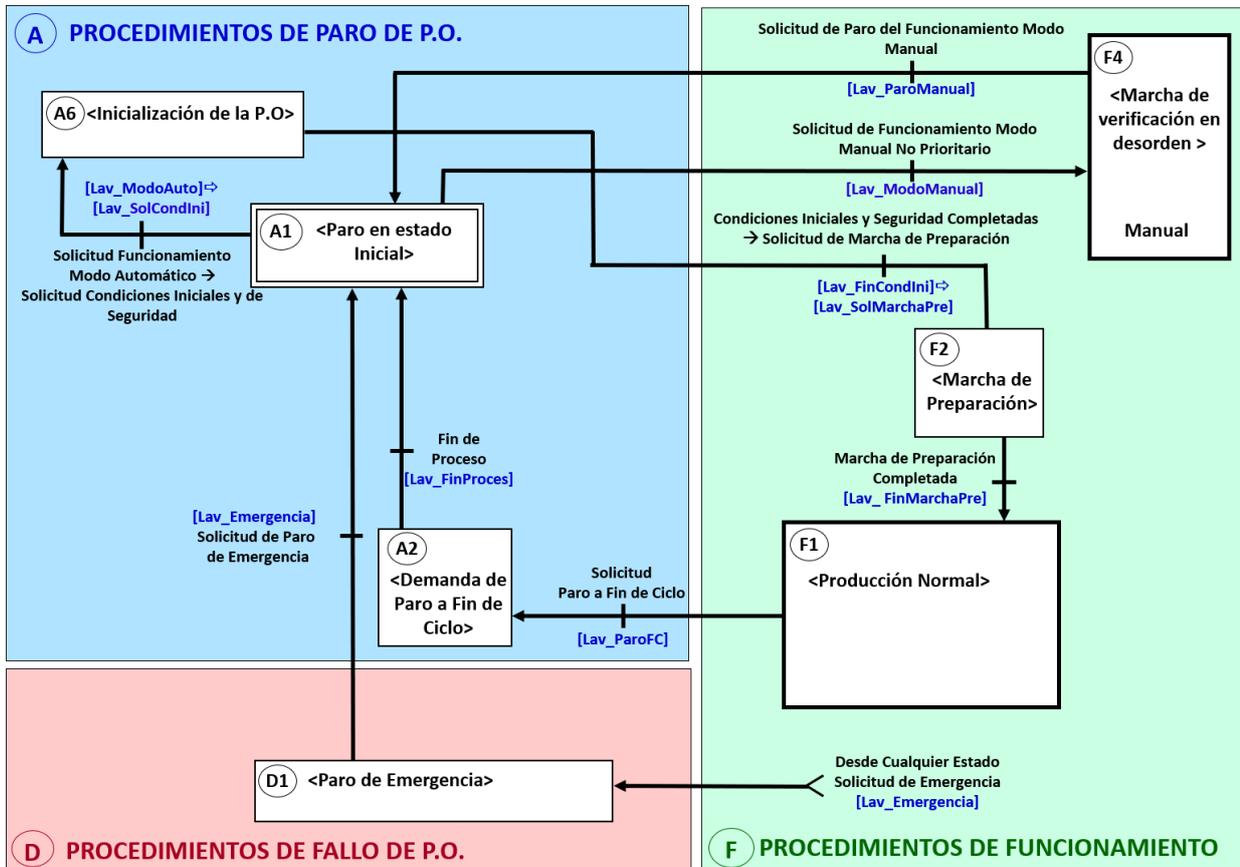


Fig. 59 GEMMA lavadora

Partiendo del sistema en estado Paro en Estado inicial [A1], al solicitar su funcionamiento automático, se pasará al estado Inicialización de la Parte Operativa [A6] donde se deberán verificar las condiciones iniciales y de seguridad del sistema. Aquellos sistemas que requieran tareas de preparación previas a la producción disponen del estado Marcha Preparación [F2] como paso previo al estado Producción Normal [F1]. Cuando el sistema se encuentra en producción y se solicita la parada a fin de ciclo, el sistema pasará al estado Demanda de Paro a Fin de Ciclo [A2] hasta que se finalice el ciclo. Aquellos sistemas que precisen operaciones adicionales una vez finalizada la producción, requerirán del estado Marcha de Finalización [F3], tras lo cual el sistema se detendrá en el estado de reposo Paro en estado inicial [A1].

Asimismo, estos seis pasos permiten identificar los casos de uso que describen la funcionalidad de la secuencia principal con los actores que intervienen en los mismos, y las precondiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. El caso de uso “Solicitar funcionamiento modo automático” puede incluir los casos de uso “Inicializar parte operativa” y/o “Ejecutar marcha de preparación”, mientras que el caso de uso “Solicitar parada a fin de ciclo” puede incluir “Ejecutar macha de finalización”. Las solicitudes de los actores externos al sistema de control van a determinar las pre-condiciones de ejecución de los casos de uso y las condiciones de evolución entre los estados de GEMMA; por ejemplo, el personal de planta puede ser quién solicite el funcionamiento y/o la parada a fin de ciclo. Cuando no hay intervención de actores externos, el sistema de control genera dichas condiciones. La activación de la Emergencia hará evolucionar al sistema al estado de Paro de Emergencia [D1] desde cualquier estado GEMMA.

## 8.7.2 Diseños

### 8.7.2.1 Graficets

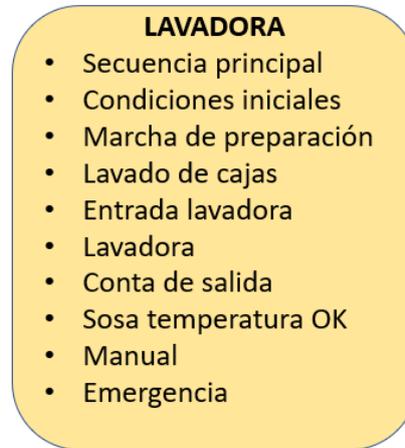


Fig. 60 Lista graphicet lavadora

- Secuencia principal: Este graphicet organiza el arranque del sistema y control de la parada programada del mismo.

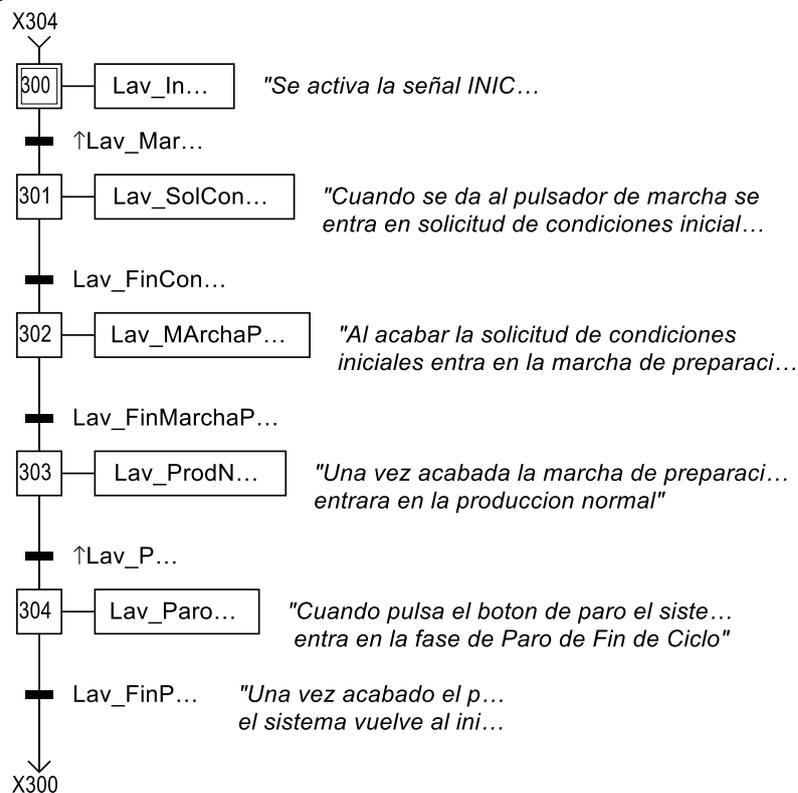


Fig. 61 Graphicet Secuencia principal lavadora

- Condiciones iniciales: Se encarga de colocar todos los elementos en la posición correcta antes de empezar con la producción normal.

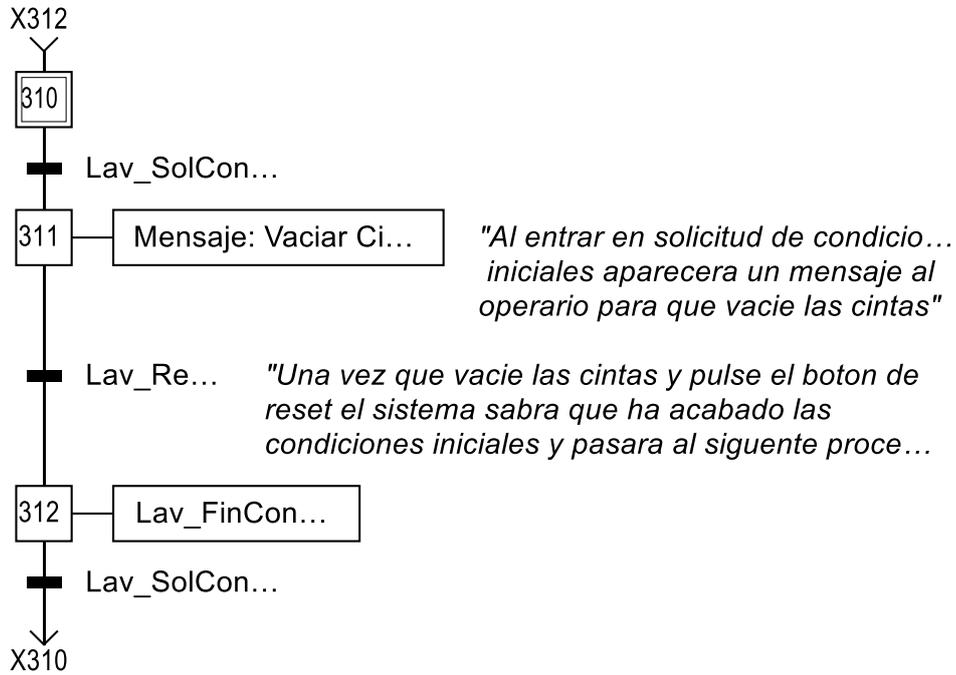
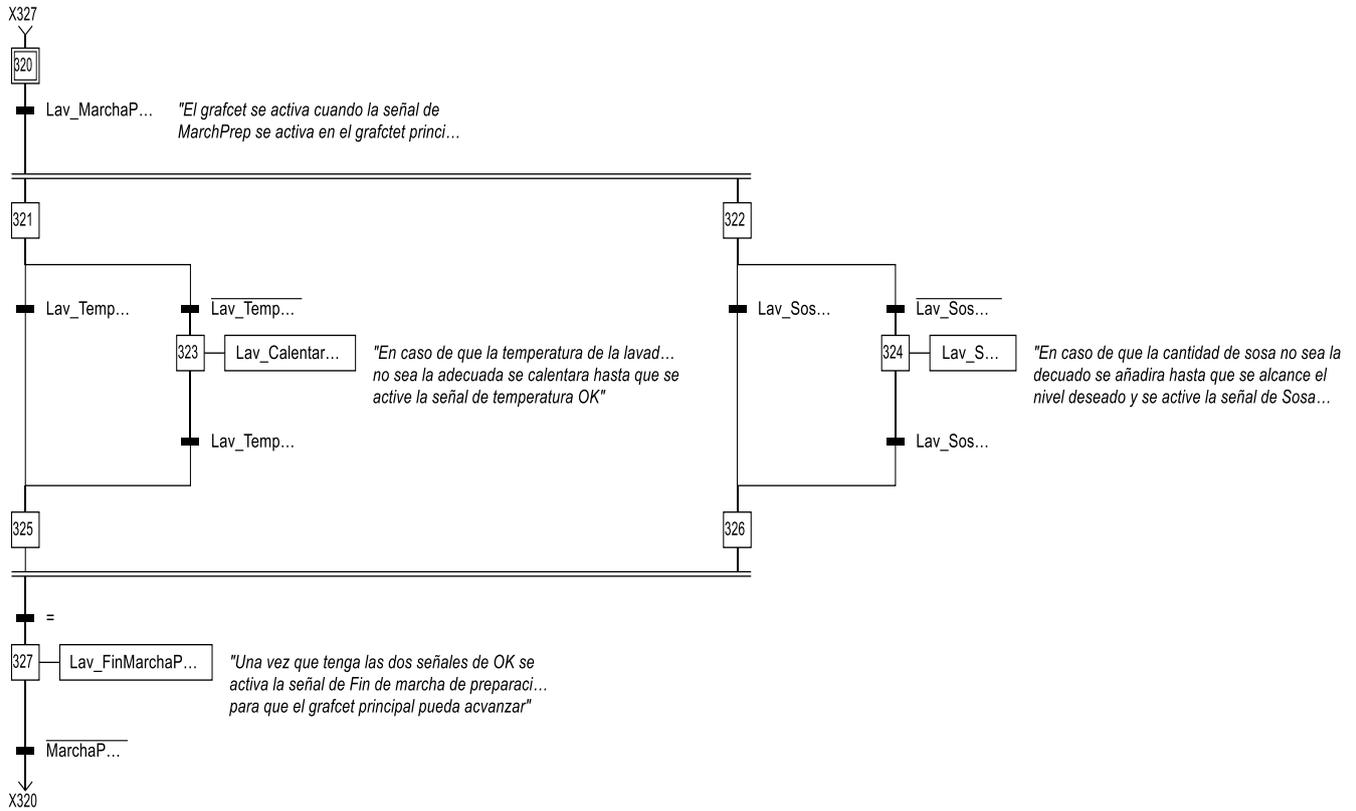


Fig. 62 Grafcet condiciones iniciales lavadora

- **Marcha de preparación:** Se encarga de que la lavadora tenga la temperatura correcta y la cantidad de sosa adecuada.



**Fig. 63 Grafcet marcha preparación**

Dentro de la producción normal estarán metidos los graficets que controlarán toda la unidad:

- Graficet de lavado de cajas: Este se encargará de limpiar las cajas y transportarlas a la siguiente unidad para ser reutilizadas.

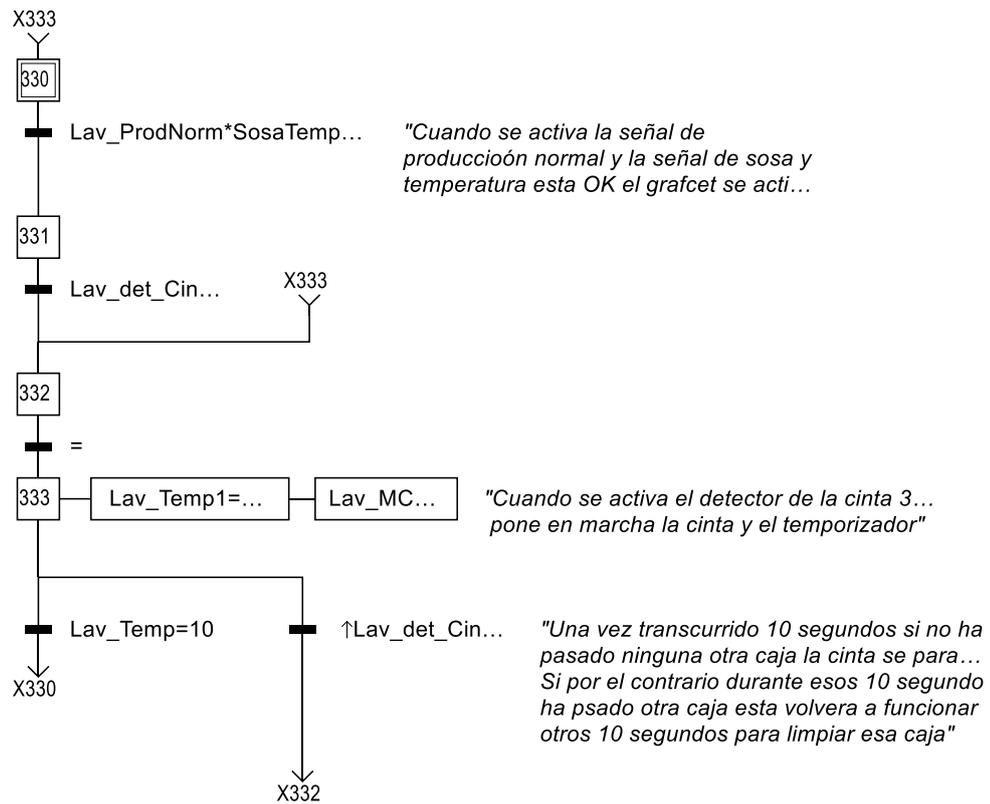


Fig. 64 Graficet lavadora de cajas

- Grafset de entrada de botellas: Se encarga de llevar todas las botellas a la lavadora y alinearlas para que entren correctamente en sus respectivas posiciones.

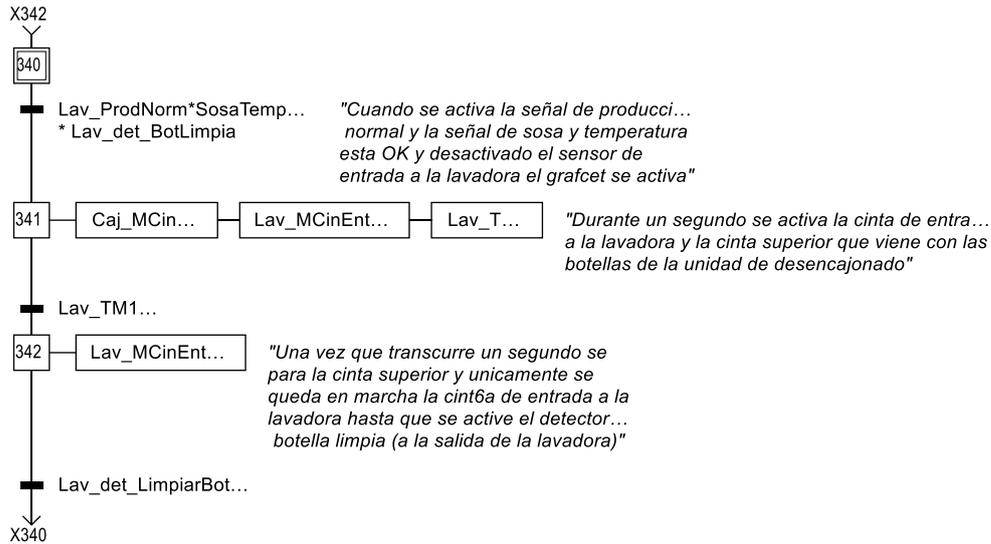


Fig. 65 Grafset entrada lavadora

- Grafset de lavadora: Este se encarga de lavar todas las botellas que van llegando a través de la cinta de entrada de botellas.

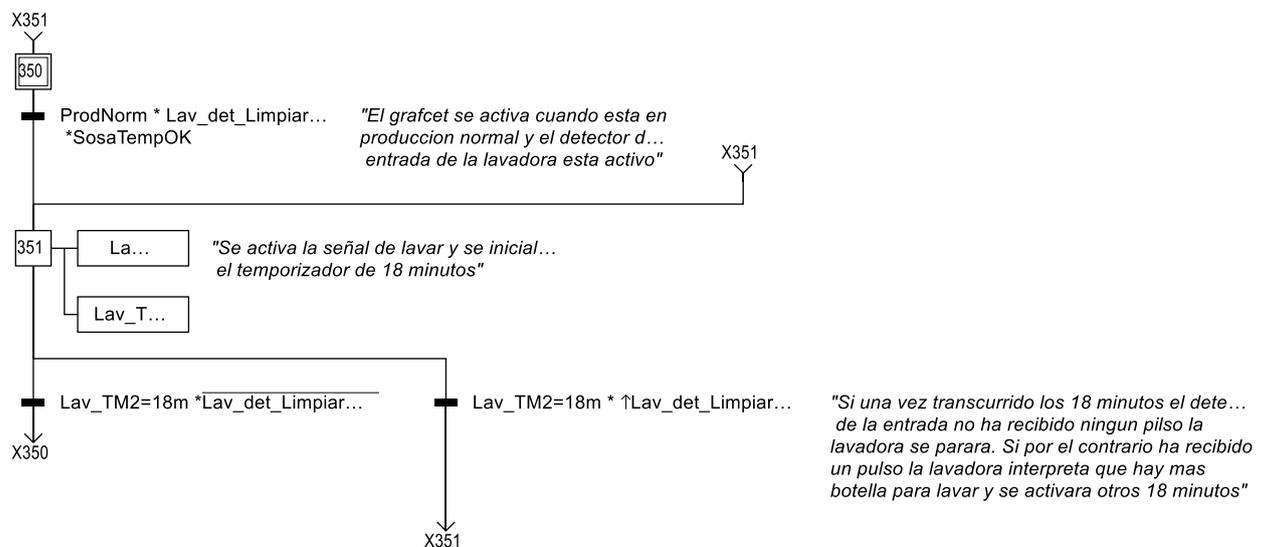


Fig. 66 Grafset lavadora de botellas

- Graficet cinta de salida: Este se encarga de las botellas controlar la cinta que sale de la lavadora de botellas en dirección a la unidad de verificación.

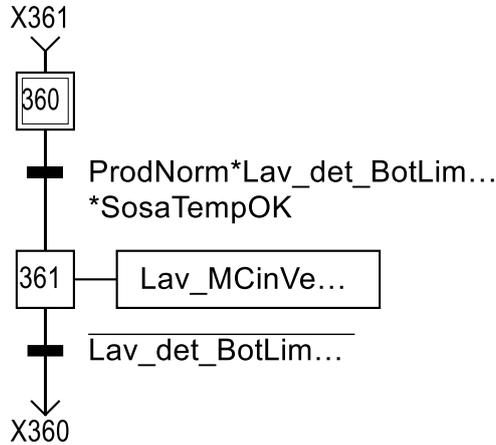


Fig. 67 Graficet cinta de salida

- Graficet temperatura y sosa: Este se encarga de mantener la temperatura y la sosa en los niveles adecuados en todo momento.

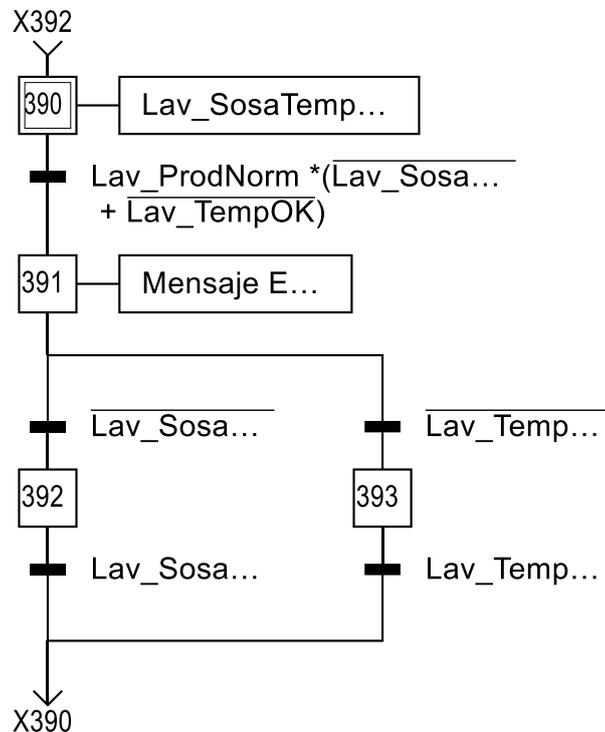


Fig. 68 Graficet control temperatura y sosa

Fuera de la producción normal tendremos otros dos graficets:

- Graficet emergencia: Se utiliza para una situación de riesgo. Una vez activado se produce una parada instantánea del sistema.

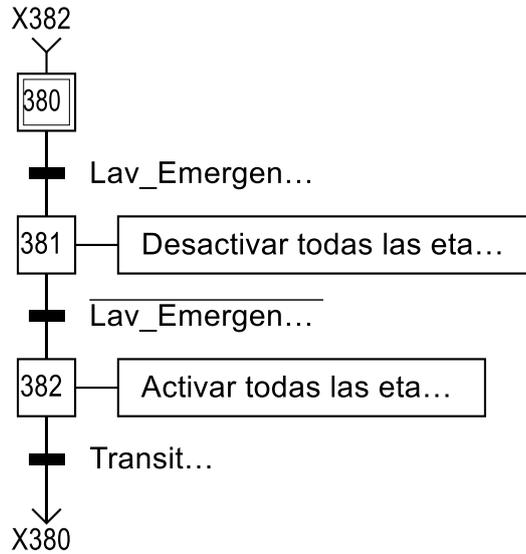


Fig. 69 Graficet emergencia lavadora

- Graficet manual: El operario controla todo de forma manual. Esto será útil para la puesta a punto del sistema.

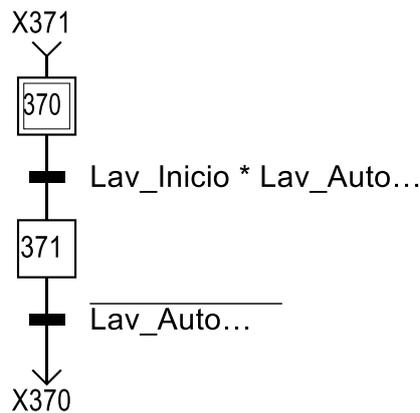


Fig. 70 Graficet manual

## 9 Control General

A la hora de ejecutar el programa también existe la posibilidad de controlarlo mediante un control general. Para ello antes de iniciar con la puesta en marcha del sistema se ha de seleccionar la opción de control mediante control general, ya que si se empieza con el control individual de cada una de las estaciones no se podrá volver al control general a menos que se reinicie todo el sistema.

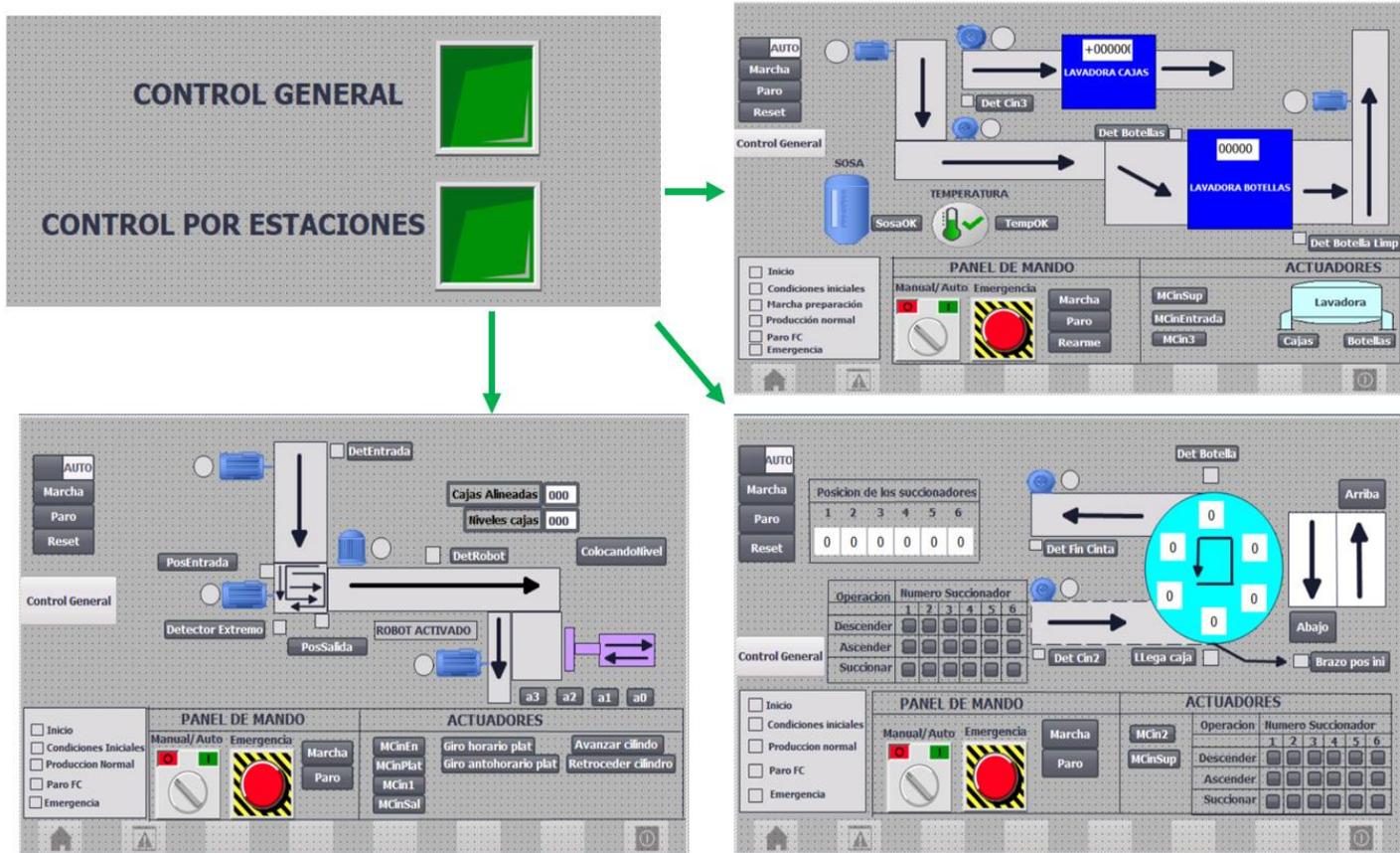


Fig. 71 Selección HMI

### 9.1 Modos de funcionamiento

En el modo de funcionamiento general se puede trabajar en dos modos: Automático y manual.

#### 9.1.1 Automático

Una vez seleccionado el modo de funcionamiento automático el sistema se ira ejecutando secuencialmente en el orden programado. De esta forma no hará falta estar controlando uno a uno todos los actuadores ya que estos funcionaran según el estado de los sensores y actuadores.

### 9.1.2 Manual

En el funcionamiento manual el personal de planta controla directamente uno a uno todos los sistemas de la planta de forma manual.

## 9.2 Condiciones de arranque

Para que se pueda usar la opción de control general el sistema debe de cumplir ciertos requisitos:

- Todos los sistemas deben de estar en su estado inicial.
- Una vez arrancado el programa en algún modo que no sea el control general no se podrá Volver al control general a menos que se reinicie.

## 9.3 Sistemas de supervisión

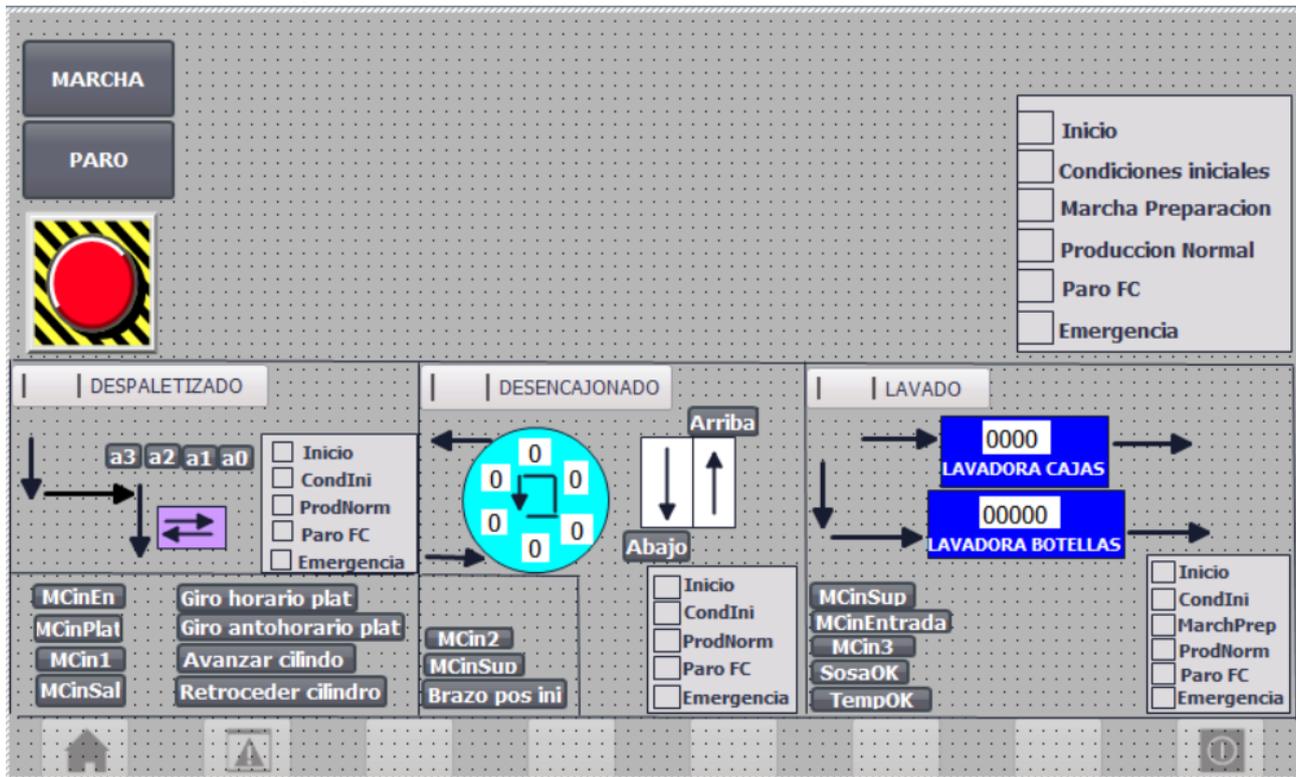


Fig. 72 HMI control general

El sistema de supervisión procesará la siguiente información referente a la estación:

- En qué etapa del proceso se encuentra inicio, condiciones iniciales, producción normal, paro, emergencia).
- Temporizador de las lavadoras de cajas y botellas.

Información relacionada con la trazabilidad del proceso:

- Posición en la que se encuentra el cilindro del módulo de despaletizado.
- Posición en la que se encuentra la maquina rotatoria del módulo de desencajonado.
- Estado de las lavadoras del módulo de lavado.

Controles sobre la estación:

- Pulsador de marcha
- Pulsador de parada
- Conmutador de modo automático/manual
- Pulsador de reset
- Pulsador para volver al control general
- Pulsador de emergencia
- Pulsadores para cada acción que se puede realizar en la estación.

## 9.4 Señales

En el control general únicamente hay señales de control para poder controlar todas las unidades de trabajo al mismo tiempo y poder sincronizarlas.

### 9.4.1 Señales de control

Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
CG_Inicio	Bool	%M0.0	False	True	True	True		Variable para marcar inicio del programa	
CG_SolModoAuto	Bool	%M0.1	False	True	True	True		Señal de seleccion modo manual o automatico	
CG_FinCondIni	Bool	%M0.2	False	True	True	True		Señal de fin de condiciones iniciales	
CG_FinMarchaPre	Bool	%M0.3	False	True	True	True		Señal de fin de la marcha de preparacion	
CG_SolParoFC	Bool	%M0.4	False	True	True	True		Señal de solicitud de paro del sistema	
CG_FinProces	Bool	%M0.5	False	True	True	True		Señal de fin de proceso	
CG_SolCondIni	Bool	%M0.6	False	True	True	True		Señal de inicio de condiciones iniciales	
CG_SolMarchaPre	Bool	%M0.7	False	True	True	True		Señal de solicitud marcha de preparacion	
CG_ProdNorm	Bool	%M1.0	False	True	True	True		Señal para iniciar la produccion normal	
CG_ParoFC	Bool	%M1.1	False	True	True	True		Señal de paro fin de ciclo	
CG_InicioCondIni	Bool	%M1.2	False	True	True	True		Señal para iniciar la solicitud de condiciones iniciales	

Tabla 10 Variables de control del control general

## 9.5 Análisis y diseños

### 9.5.1 Diseños

#### 9.5.1.1 Grafquets

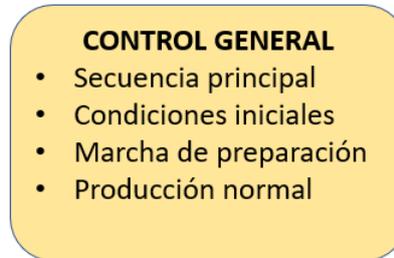


Fig. 73 Lista grafquets control general

- Secuencia principal: Este grafquet organiza el arranque del sistema y control de la parada programada del mismo.

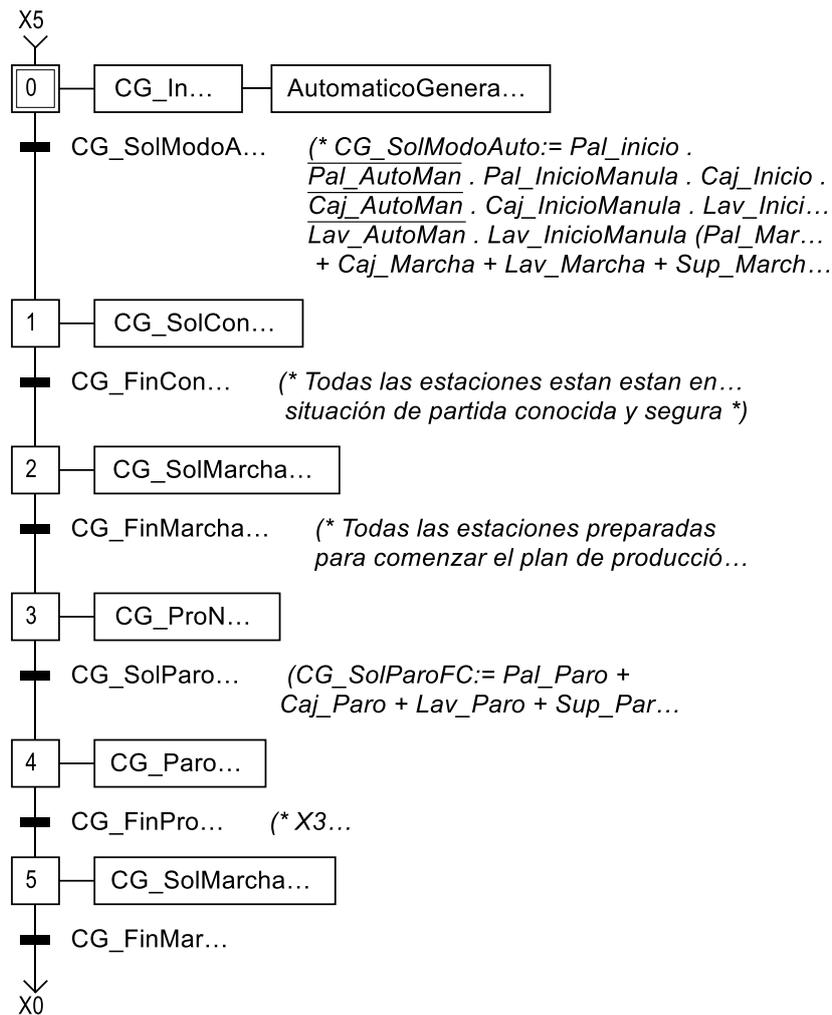


Fig. 74 Grafquet Secuencia principal del control general

- Condiciones iniciales: Este graficet sincroniza las tres secuencias de condiciones iniciales de los tres módulos de trabajo.

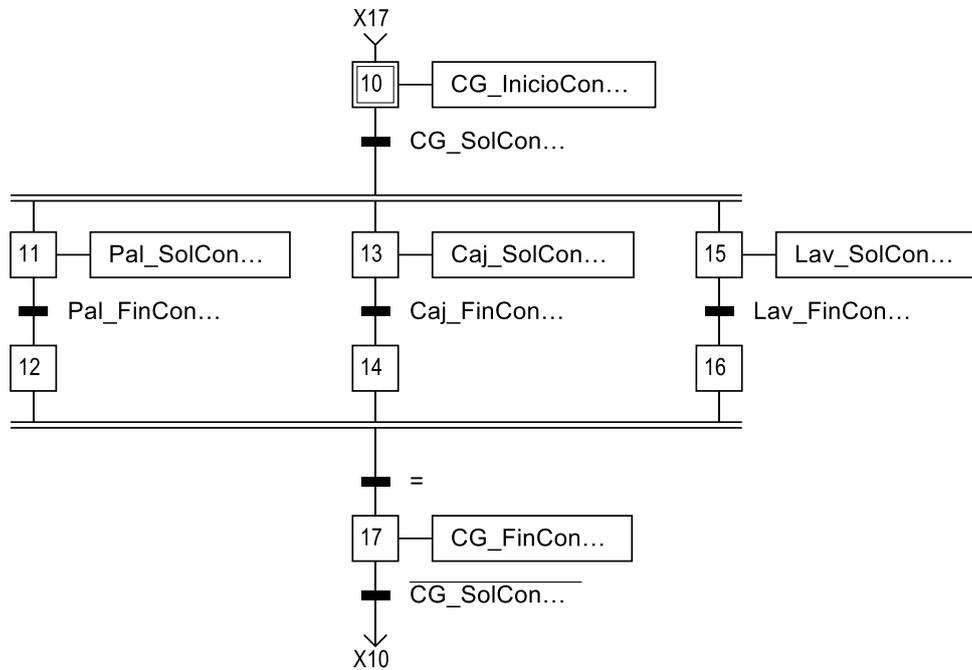


Fig. 75 Graficet condiciones iniciales del control general

- Marcha de preparación: Este graficet se encarga de controlar la marcha de preparación de la unidad de la lavadora, ya que los otros dos no requieren de marcha de preparación.

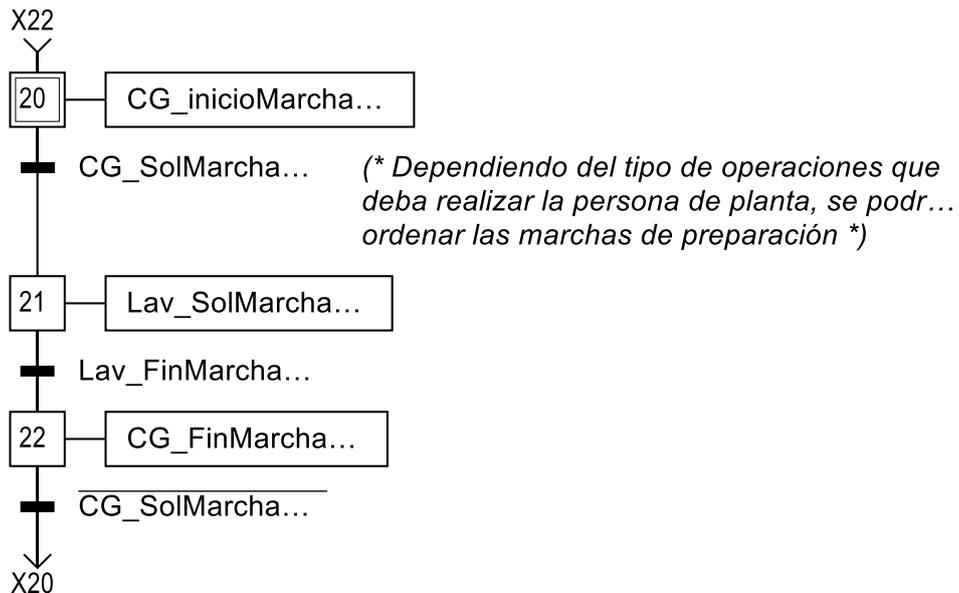


Fig. 76 Graficet marcha de preparación del control general

- Producción normal: Este grafcet se encarga de sincronizar la producción normal de las tres unidades de trabajo.

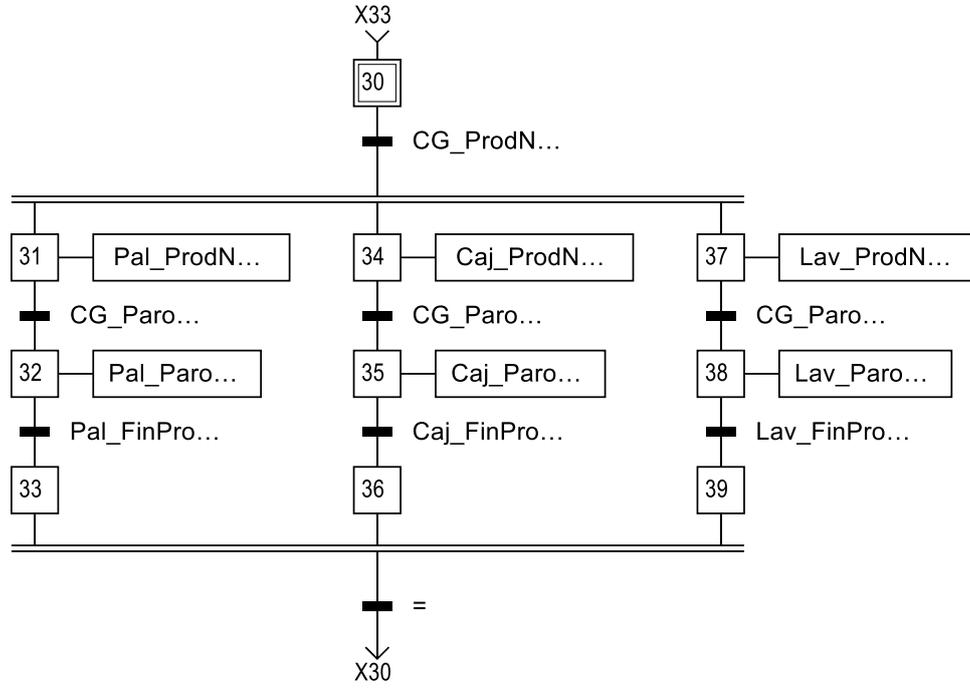


Fig. 77 Grafcet secuencia principal del control general

## 10 Implementación

Para el desarrollo del proyecto de software se ha seguido el de ciclo de vida en V que muestra las actividades de pruebas con el análisis y el diseño.

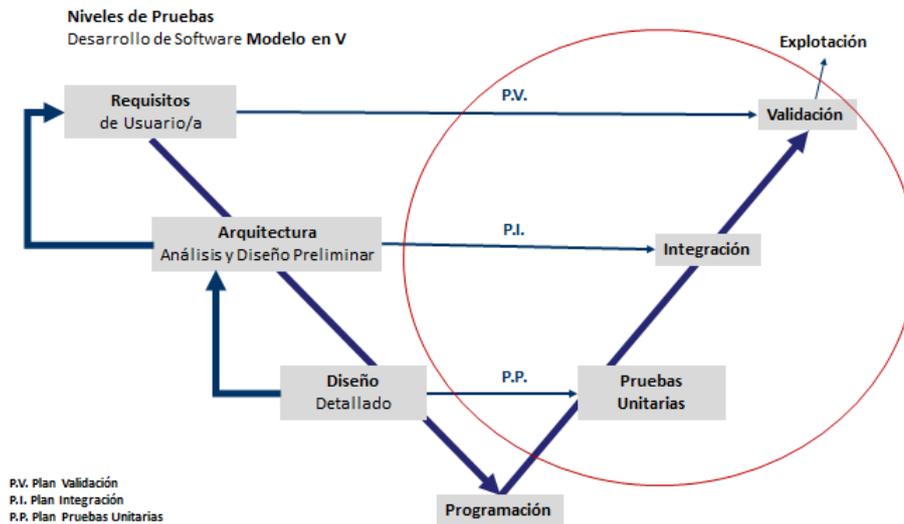


Fig. 78 Diagrama del modelo en V

Primeramente, mediante los datos proporcionados por el personal de planta de Coca Cola se ha realizado un análisis detallado de cada unidad de trabajo y sus respectivos requisitos para que funcionen todos los módulos correctamente. Mediante los datos que proporciona la empresa se procede a entender cómo funcionará toda la planta y disponer de toda la información para el posterior diseño de la arquitectura de los módulos de trabajo.

Siguiendo la metodología **MeiA**, se ha realizado el análisis de los requisitos identifican cuales son las unidades de trabajo con las que se van a trabajar y se describen los DOUs (Unidades de organización de diseño). Después se planteará cuáles son los GRAFCETs que habrá que implementar para que todos los módulos funcionen correctamente.

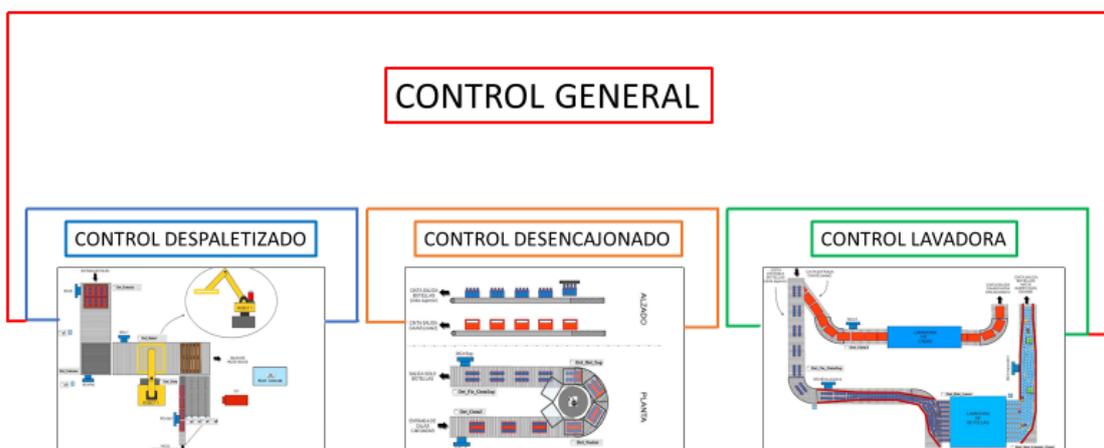


Fig. 79 Esquema unidades de trabajo del proyecto

Con cada uno de los DOUs identificados se procede a hacer un diseño detallado según los requisitos y el análisis previo y se desarrolla el lenguaje de modelado GRAFCET y la herramienta SFCEdit, con la que se han desarrollado todos los grafcets del programa según todos los requisitos y señales que eran necesarias.



Fig. 80 Esquema de todos los Grafcets

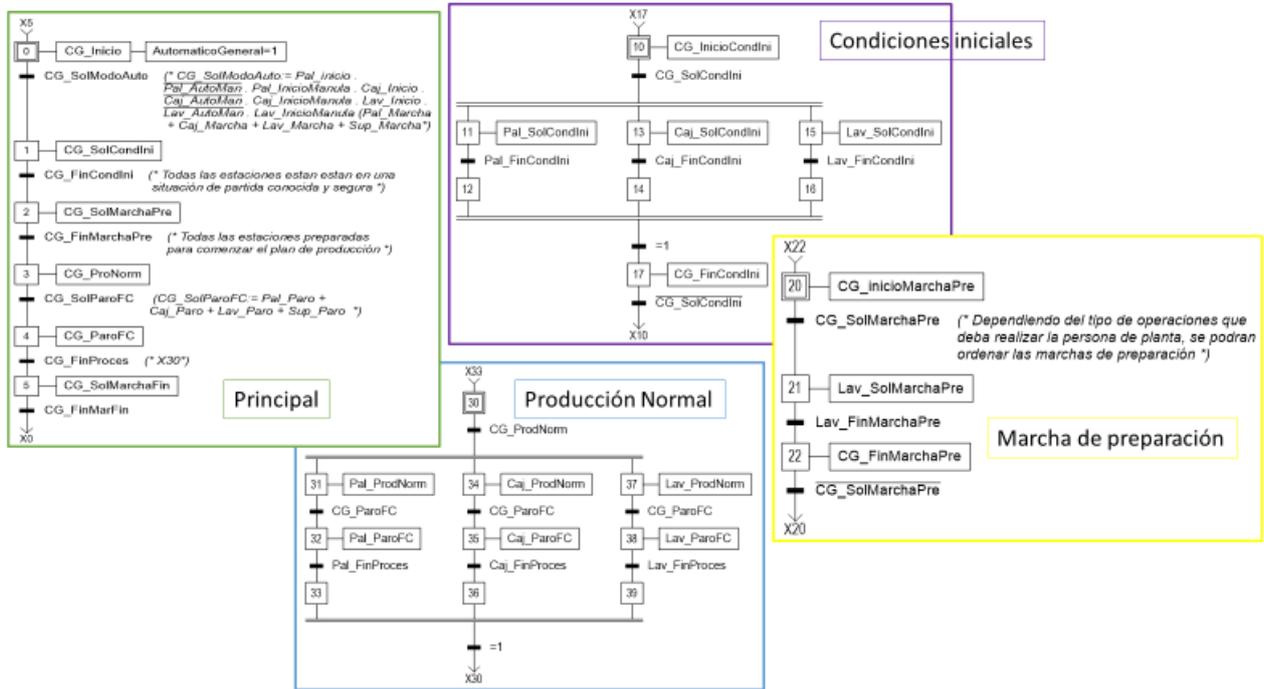


Fig. 81 Mapa de programa del control general

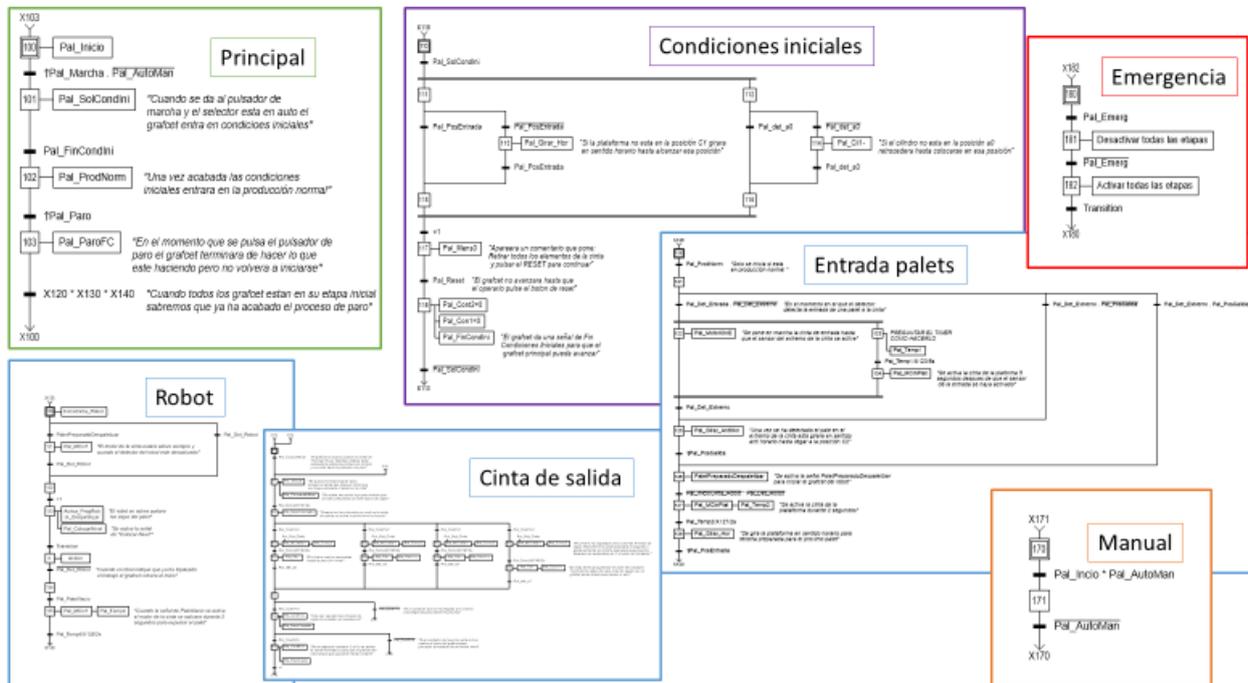


Fig. 82 Mapa de programa del despaletizado

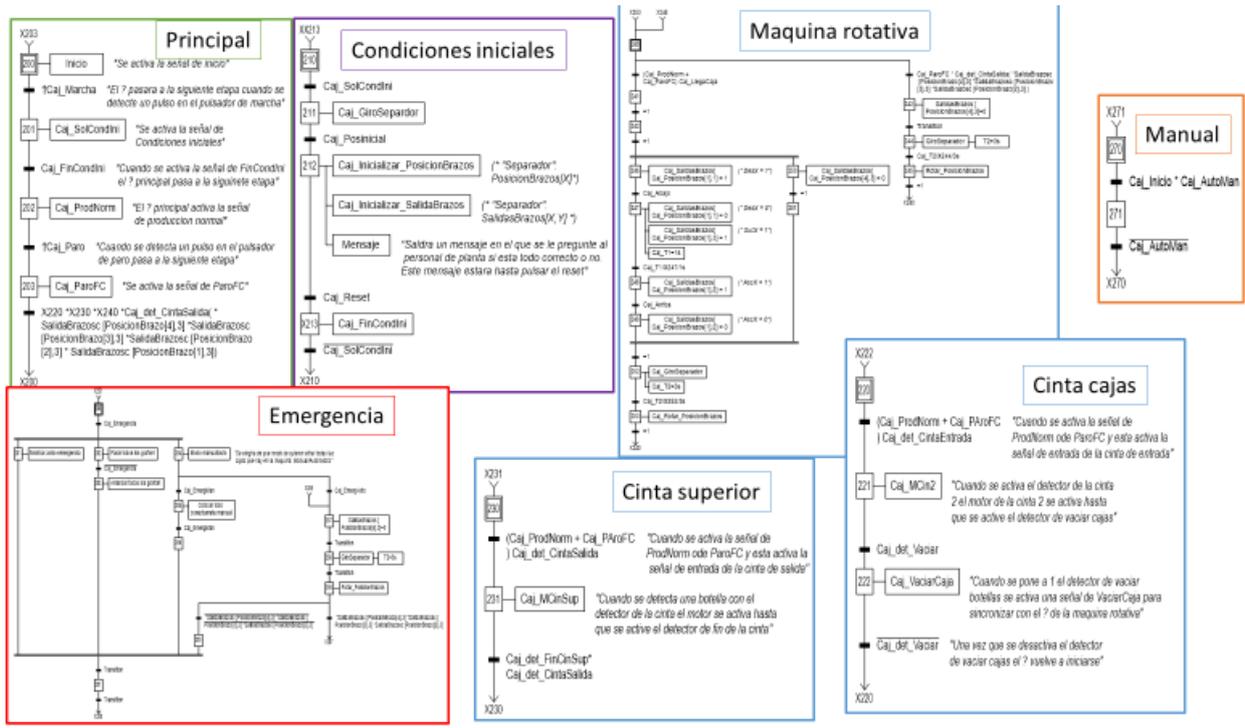


Fig. 83 Mapa de programa del desencajonado

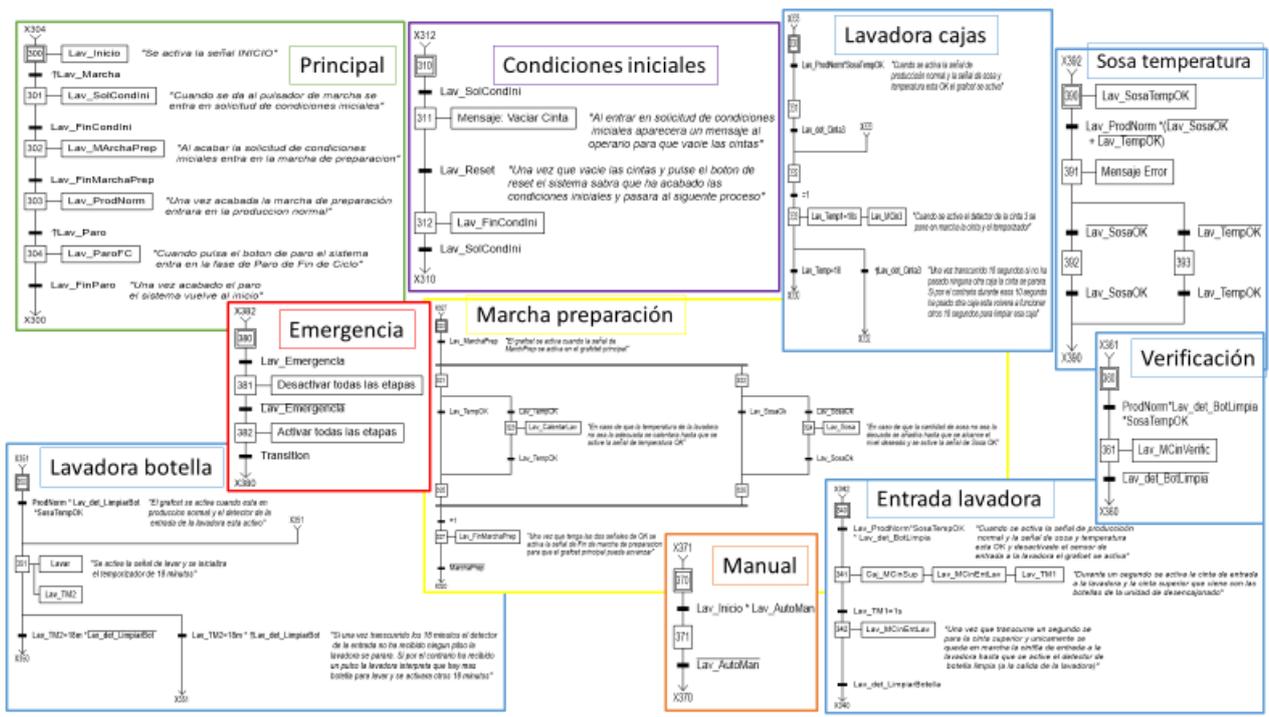


Fig. 84 Mapa de programa del lavado

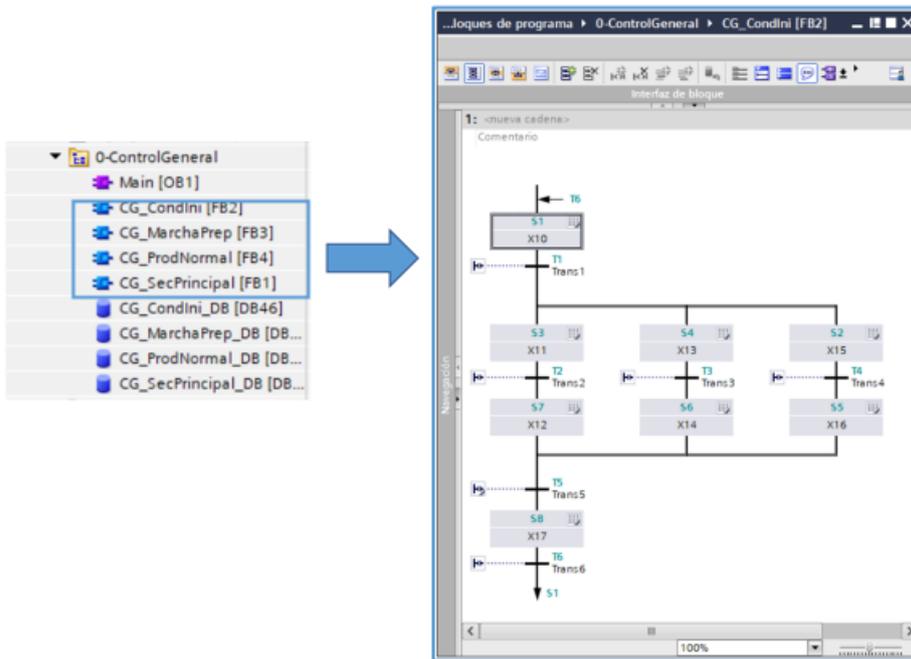


Fig. 85 Grafcet TIA Portal

Una vez realizado los grafcet en el SFCEdit se han generado los respectivos bloques de funciones en el TIA Portal. Para ello se generará un programa MAIN [OB1] cíclico de tal forma que con este se pueda controlar los otros tres.

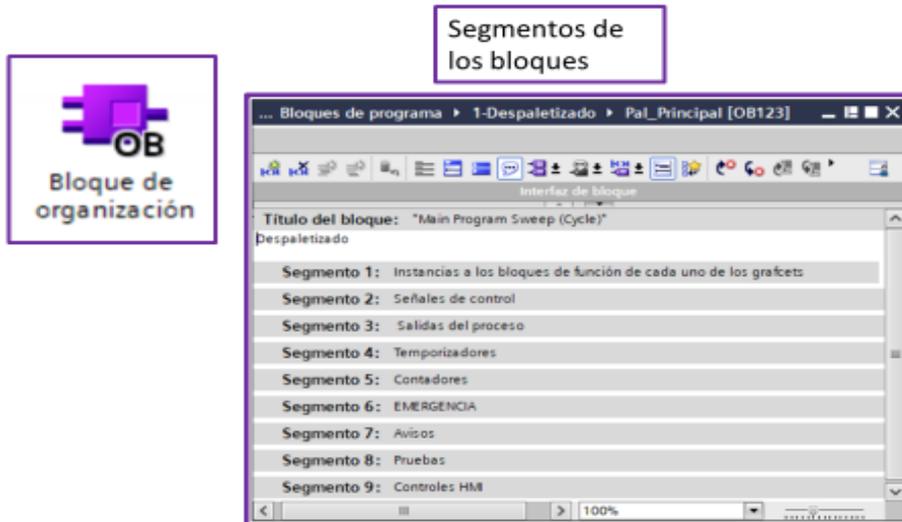


Fig. 86 Segmentos del bloque principal

Por otro lado, se generan 3 bloques de programa OB para el control independiente de las tres estaciones (despaletizado, desencajonado y lavado). Una vez generados los bloques OB de cada uno de los módulos se generan los bloques de funciones (FB) que previamente se habían diseñado mediante la herramienta de SFCEdit.

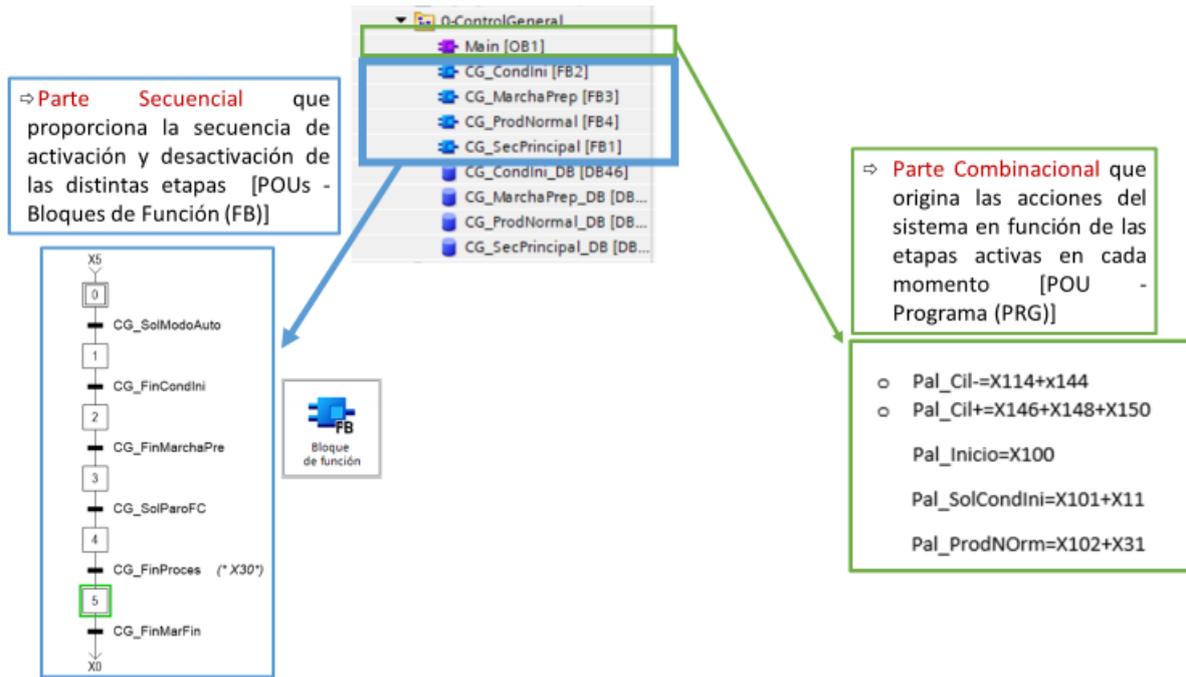


Fig. 87 Parte secuencial y combinacional

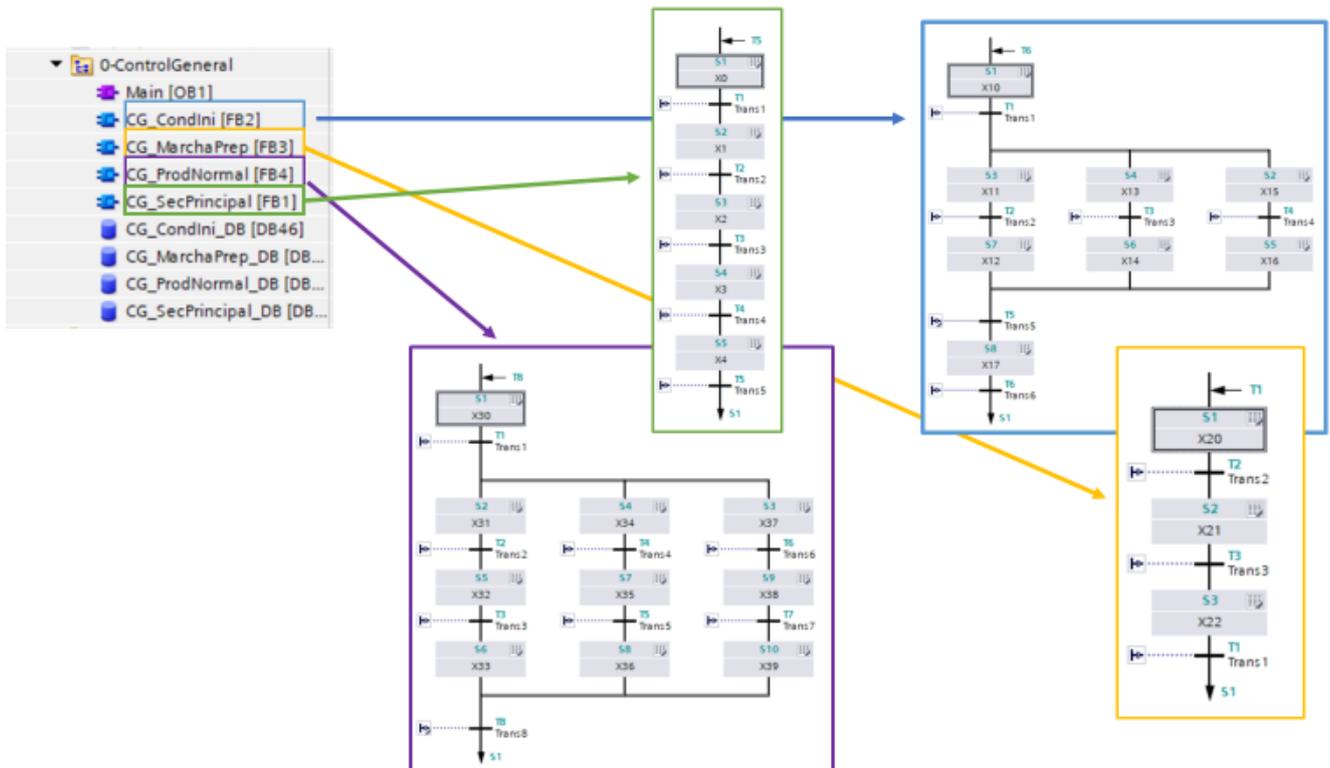


Fig. 88 Graficets unidad completa

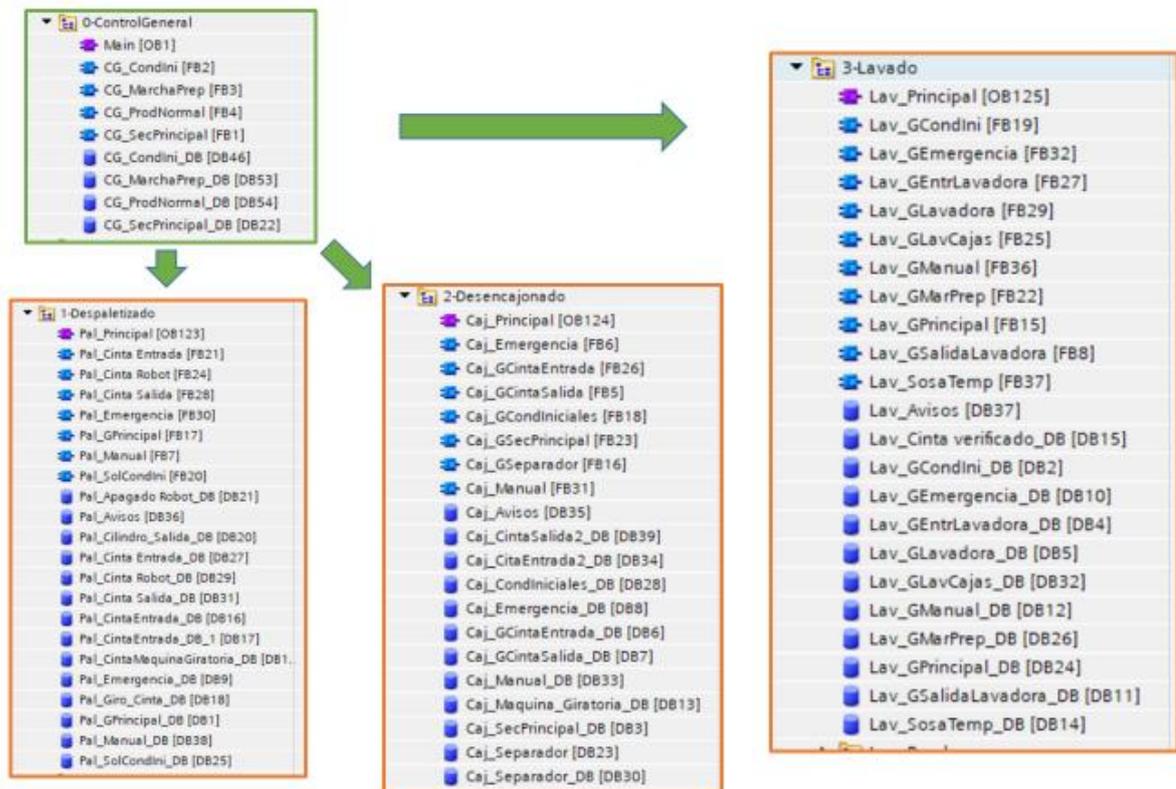


Fig. 89 Esquema completo bloques TIA Portal

Para la coordinación de todos los elementos del sistema se han utilizado tres tipos de variables (entradas, salidas y variables de control) con cada uno de los 4 bloques de los que está compuesto el programa. Para poder diferenciar a que unidad pertenece cada variable se han utilizado 4 prefijos para las variables según su unidad de trabajo.

- CG\_: Control general
- Pal\_: Despaletizado
- Caj\_: Desencajonado
- Lav\_: Lavadora

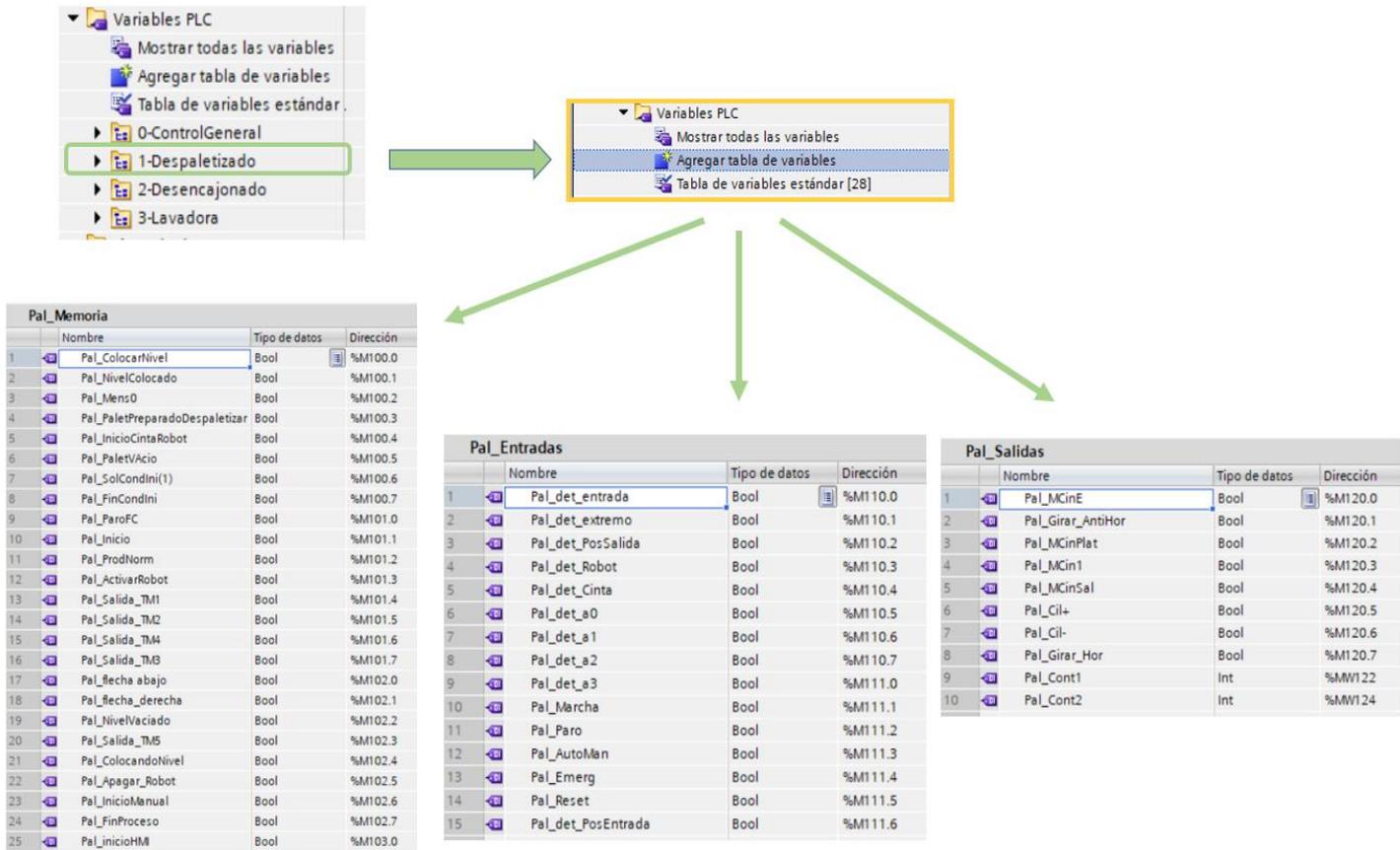


Fig. 90 Ejemplo variables despaletizado

Después para realizar las pruebas se han implementado varias pantallas HMI conectadas entre ellas para poder ver y controlar todos los sistemas mediante una pantalla.

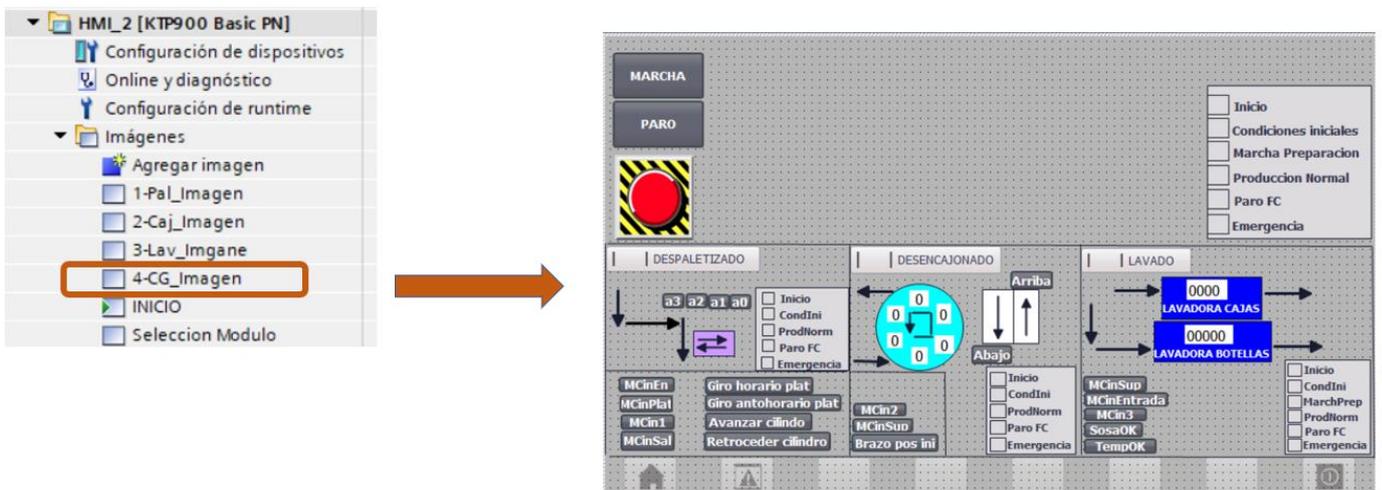


Fig. 91 Ejemplo HMI control general

## 11 Terminología

- Administration shell: Representación digital virtual y active de un I4.0 componente en el Sistema I4.0 (Epple, 2016, pág. 18)
- Asset: Artículo que tiene un valor para una organización. (Epple, 2016, pág. 18)
- Cyber physical sistem: Sistema que vincula objetos y procesos reales (físicos) con objetos de procesamiento de información (virtuales). (Epple, 2016, pág. 18)
- Componente I4.0: Participante globalmente identificable con comunicación capacidad consistente en la administración shell y activo dentro de un sistema I4.0 sistema que allí ofrece servicios con características definidas de QoS (Calidad de servicio). (Epple, 2016, pág. 20)
- Arquitectura de referencia: Modelo para una descripción de la arquitectura (para I4.0) que se utiliza en general y se reconoce como apropiado (con el carácter de una referencia). (Epple, 2016, pág. 21)
- Smart factory: Fábrica cuyo grado de integración ha alcanzado una nivel que hace posible las funciones de autoorganización en producción y en todos los procesos de negocio en relación con producción. (Epple, 2016, pág. 21)

## 12 Bibliografía

- Burgos Fernandez, A., & Sarachaga Gonzalez, I. (2019). Automatización Industrial (Introducción). *Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática*, 1-52.
- Burgos, A., Álvarez, M., Sarachaga, I., & Sainz de Murieta, J. (2018). Metodología Meia. *Metodología para ingeniería de Automatización*, 1-56.
- Ciuciu, I., & Meersman, R. (2018). *On the move to meaningful internet systems*. Malta: Springer.
- Delgado, T. (Octubre de 2018). *Research Gate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/328407872\\_INDUSTRIA\\_40\\_MARCOS\\_D\\_E\\_REFERENCIA\\_Y\\_FACTORES\\_DE\\_ALISTAMIENTO\\_EN\\_EL\\_CONTEXTO\\_CUBANO](https://www.researchgate.net/publication/328407872_INDUSTRIA_40_MARCOS_D_E_REFERENCIA_Y_FACTORES_DE_ALISTAMIENTO_EN_EL_CONTEXTO_CUBANO)
- Delotie. (2019). *Deloitte*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>
- El Mundo. (17 de 06 de 2015). *¿Qué son los 'Cyber Physical Systems'?* Obtenido de <https://www.elmundo.es/economia/2015/06/17/55814682e2704e4e328b4576.html>
- Epple, U. (2016). Industrie 4.0- Technical Assets. *VDI/VDE- Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik*, 1-28.
- factory, I. 4. (2019). *Grupo Garatu IT solutions*. Obtenido de <https://grupogaratu.com/que-son-sistemas-ciber-fisicos-cps/>
- IEC1131-3. (s.f.). *Estandarización de la programación del control industrial*, págs. 1-7. Obtenido de [http://isa.uniovi.es/~felipe/files/infindll/documentos/iec1131-3%20espa%F1ol%20\(1\).pdf](http://isa.uniovi.es/~felipe/files/infindll/documentos/iec1131-3%20espa%F1ol%20(1).pdf)
- Lopez Recio, A., & Mérida Padial, M. B. (2013). Trabajo Fin de Grado (TFG). *Sistema de automatización de la línea de vidrio de Norbega S.A.* Bilbao.
- Mecatrónica*. (24 de Abril de 2013). Obtenido de <http://miblogmecatronica.blogspot.com/2013/04/q-ue-es-un-sistema-mecatronico-o-u-n.html>
- Natera, C. A., & Maneses, M. A. (2015). ISA( International Society of Automation). *Universidad de oriente*, 1-10.

Tools, I. (2019). *Plataforma tecnológica para la gestión de la excelencia*. Obtenido de <https://www.isotools.org/2018/07/12/industria-4-0-que-debemos-saber/>

Wikipedia. (Junio de 2019). *Industria 4.0*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Industria\\_4.0](https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0)

Wikipedia. (2019). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_ciberf%C3%ADsico](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_ciberf%C3%ADsico)